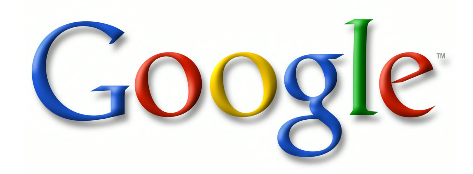
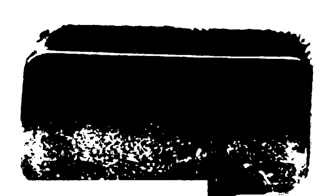


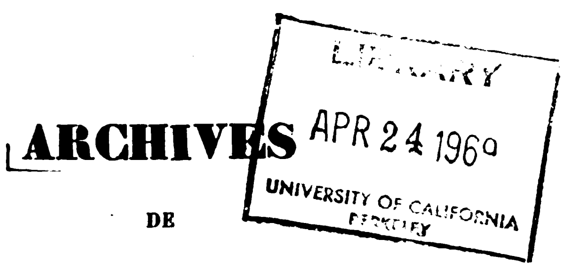




ARCHIVES

DE

L'ÉLECTRICITÉ,



PAR

Mr A. DE LA RIVE,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE DE GENÈVE.

Tome IV.—Année 1844.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,

AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

CHEZ B. GLASER,

Rue de la Pélisserie, n° 133.

PARIS,

CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,

Rue Dauphine, n. 36.

1844

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME IV.

(Année 1844 ; nos 13 — 16.)

Numéro 13.

Pages.
Quelques expériences sur le courant thermo-électrique d'un circuit homogène et continu, par Mr. A. Mousson 5
Sur divers phénomènes d'induction (premier Mémoire), par Mr. Elie Wartmann, professeur à Lausanne 34
De l'action voltaïque de l'oxigène dans la pile à gaz de Grove, par C.-F. Schœnbein. 56
Sur la production de l'électricité voltaïque, par Mr. Ch. Matteucci. 65
Sur la coloration des métaux (2me Mémoire), par Mr. Becquerel . . 74
Description de plusieurs instruments et procédés nouveaux pour déterminer les constantes d'un circuit voltaïque, par Mr. Ch. Wheatstone 102
Quelques observations sur le Mémoire de Mr. Wheatstone, par Mr. le professeur de la Rive. 143
Expériences sur la réaction voltaïque, par W.-R. Grove 148
Etudes de photométrie électrique, par Mr. A. Masson 152
Des lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps, par Mr. Edmond Becquerel 156
Nouvelle pile à effet constant, par le prince P. Bagration 158
Perfectionnements apportés à la construction de la machine électrique, par Crahay. 162
Quelques phénomènes voltaïques, par Grove. 166
Enregistreur électro-magnétique pour les observations météorologiques, par Mr. Wheatstone 170
Extrait d'une lettre de Mr. Palmieri à Mr. le professeur de la Rive. 172

Numéro 14.

Météorologie électrique, par Mr. Ath. Peltier (1re partie). 173
Des lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps, par Mr. Edmond Becquerel 224
De la décomposition par électrolysation des composés secondaires, par J.-F. Daniell et W.-A. Miller. 259

Pages

Description d'une série d'expériences faites avec la batterie à eau, suivie de recherches dirigées dans le but d'étudier la relation entre les effets chimiques et électriques qui ont lieu avant et après que le circuit est fermé, par J.-P. GASSIOT 262
Quelques observations sur la décomposition voltaïque des solutions, par A. CONNEL 265
Du caractère intermittent du courant voltaïque dans certains cas d'électrolyse, et de l'intensité de différentes combinaisons voltaïques, par Mr. JOULE 269
De quelques phénomènes de décomposition voltaïque, par W. BEETZ. 276
Sur un nouveau procédé pour augmenter à volonté la force électromotrice d'un courant galvanique, et sur la polarisation galvanique en général, par Mr. POGGENDORFF 285
Nouvelles recherches relatives au prétendu courant de retour ou contre-courant dans la pile de Volta, par Mr. POGGENDORFF 297
Sur la conductibilité de la terre pour le courant électrique, par Mr. MATTEUCCI 301
Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy, par MM. H. FIZEAU et L. FOUCAULT 311
Expériences faites sur le courant d'une batterie de Grove de cent couples, circulant à travers un fil isolé de cent soixante milles de longueur, par Mr. S.-F.-B. MORSE 326
De l'influence qu'exerce la présence du fer sur des courants d'induction d'ordres supérieurs, par Mr. H.-W. DOVE 331

Numéro 15.

Sur la production de l'ozône par voie chimique, par Mr. le professeur C.-F. SCHOENBEIN 333
Quelques observations sur le Mémoire de Mr. Schœnbein, relatif à la production de l'ozône par voie chimique 454
Sur les figures électriques, par G. KARSTEN. 457
De l'électricité des vapeurs provenant des bouilleurs à haute pression, par Mr. Peltier. 474
Etudes de photométrie électrique, par Mr. A. MASSON 479
Des effets calorifiques des courants magnéto-électriques, et de l'évaluation mécanique de la chaleur, par J.-P. Joule 483
Recherches sur l'action que l'électricité et le magnétisme exercent sur l'élasticité des métaux, par Mr. G. WERTHEIM 487
Recherches sur la concentration de la force magnétique vers les surfaces des corps magnétisés, par Mr. le docteur de HALDAT . . 491
Note sur un procédé de gravure photographique, par Mr. H. FIZEAU. 498
Sur la réduction du laiton par la voie galvanique, par Mr. H. JACOBI. 501

Pages.

Rapport entre le sens du courant électrique et les contractions musculaires dues à ce courant, par MM. Longet et Ch. Matteucci . . 505
De la couleur bleue que prend le fer, et du rapport qu'il y a entre ce phénomène et l'état passif que présente le même métal, par W. Beetz. 509
Application de l'électro-métallurgie aux arts, par MM. Elkington . . 515
De la précipitation des métaux par d'autres métaux, par M. Becquerel 520
Addition au Mémoire qui précède 552

Numéro 16.

Des courants électriques terrestres, et de leur influence sur les phénomènes de décomposition et de recomposition dans les terrains qu'ils parcourent, par Mr. Becquerel 557
Remarques sur quelques anomalies apparentes dans les phénomènes électriques produits par la foudre; lettre de Mr. Peltier . . . 580
Sur les progrès et sur l'état actuel de la galvanographie, par Fr. de Kobell 584
De la thermo-électricité des métaux et des minéraux métalliques, par Mr. le docteur Hankel. 590
De la polarisation voltaïque du fer, par W. Beetz 600
Expériences sur la force électromotrice tellurique, exécutées par Mr. L. Magrini, avec l'appareil que la ville de Milan fit construire à l'occasion du sixième congrès scientifique 610
Résultats des observations magnétiques faites à Genève, dans les années 1842 et 1843, par le professeur E. Plantamour. 620
Recherches sur la cause de la réduction des métaux lorsque les solutions de leurs sels sont soumises au courant galvanique, par Alfred Smee. 643
Observations sur une lettre de Mr. Matteucci, par Mr. E. Becquerel. 653
Errata du mémoire de Mr. Sbhoenbein sur la production de l'ozône par voie chimique 663

ARCHIVES DE L'ÉLECTRICITÉ.

QUELQUES EXPÉRIENCES SUR LE COURANT THERMO-ÉLECTRIQUE D'UN CIRCUIT HOMOGÈNE ET CONTINU.

(Voir la planche à la fin du cahier.)

Au point où sont parvenues nos connaissances sur les phénomènes de l'électricité dynamique, il faut admettre que l'action particulière inconnue, qui constitue ce que nous nommons le courant, est dans tous les cas de même nature, quel que soit le moyen par lequel l'électricité a été mise en jeu. Ainsi le courant produit dans la pile, qui est lié probablement à des actions chimiques, le courant thermo-électrique, dépendant d'une manière quelconque du mouvement de la chaleur, enfin le courant d'induction, dû à l'influence d'un aimant ou d'un autre courant à l'état de naissance ou d'extinction, ces trois sortes de courant, disons-nous, ne paraissent différer que sous le rapport de leur quantité, de leur intensité ou de leur durée. Nulle observation n'autorise jusqu'ici à supposer des différences qualitatives et irréductibles, telles que nous les rencontrons entre les rayons lumineux de différentes couleurs, ou les rayons calorifiques de sources diverses.

Mais si la nature intime du courant se trouve être la même dans tous les cas, ne devons-nous pas en conclure qu'également dans sa production, quel qu'en soit le mode, il doit se trouver une même action première à laquelle le jeu des forces

chimiques, le mouvement de la chaleur et l'influence inductive ne servent pour ainsi dire que de principes excitateurs? Ainsi, par exemple, tous les moyens si divers de produire un son acoustique peuvent être ramenés à une condition unique et essentielle, savoir de faire naître des vibrations isochrones dans le corps sonore. A ce point de vue il devient surtout intéressant d'étudier les faits où le dégagement de l'électricité dynamique se présente sous la forme la plus simple et la plus facile à saisir, puisque par leur moyen l'on peut espérer de pénétrer plus avant, vers cette cause première commune, qu'en portant l'attention sur des phénomènes d'un genre plus compliqué. Sous ce rapport, les actions thermo-électriques paraissent avoir une supériorité sur les actions hydro-électriques. Les premières ne dépendent, en effet, que de la nature des métaux employés et de l'influence du calorique, dont les lois peuvent être censées assez bien connues, tandis que l'activité de la pile est constamment accompagnée et modifiée par les changements chimiques qui s'opèrent au contact des métaux avec l'électrolyte, changements que nous n'avons aucun moyen d'analyser exactement. C'est cette simplicité apparente des phénomènes thermo-électriques, qui sans doute avait engagé Mr. Nobili, avant qu'on connût les actions inductives, à considérer le calorique comme la source unique et générale de tous les courants, même de ceux que fournit la pile ordinaire.

Parmi les actions thermo-électriques mêmes, il convient de distinguer divers degrés de complication, que nous trouvons déjà indiqués dans les premiers travaux sur ce genre de phénomènes. Nous devons rappeler à cette occasion le mémoire si important et beaucoup trop négligé, dans lequel Mr. Seebeck, en 1823, exposa la découverte et les lois du thermo-magnétisme. Dans ce mémoire, extrêmement riche en expériences des plus variées, nous trouvons indiqués, sinon approfondis avec soin, presque tous les faits de différents ordres, dont se sont depuis occupés les physiciens; et si ceux-ci n'ont pas plus sou-

vent recouru à ce document fondamental pour toutes nos connaissances en thermo-électricité, nous ne saurions l'attribuer qu'aux difficultés qu'opposent à son étude les considérations théoriques dans lesquelles l'auteur est entré. En effet l'idée d'un courant électrique, généralement admise de nos jours, simplifie singulièrement le raisonnement, si on la compare avec l'hypothèse d'un développement immédiat de polarités magnétiques, telle que les premiers physiciens et Mr. Seebeck l'ont d'abord conçue.

Mr. Seebeck examine successivement les trois principaux cas de développement thermo-électrique : d'abord le cas où deux métaux en contact permanent sont tous deux échauffés à leur point de jonction ; en second lieu, celui où des fils de même nature ou de nature différente, l'un froid, l'autre échauffé, sont subitement mis en contact ou plongés dans du mercure ou un autre métal en fusion ; enfin le cas où l'échauffement d'un circuit ou d'une masse continue d'un même métal suffit pour faire dévier l'aiguille aimantée. Ce dernier cas est sans contredit le plus simple, puisque, d'un côté, l'influence provenant de la différence des métaux, de l'autre, celle qui est due aux surfaces de contact, plus ou moins altérées par l'effet de la chaleur, s'y trouvent entièrement éliminées. Aussi est-ce en étudiant le courant développé dans un fil homogène et continu, que Mr. Becquerel s'est élevé au point de vue le plus général qui ait été énoncé à l'égard de la dépendance du courant et du mouvement de la chaleur, savoir : que le sens dans lequel marche le premier se trouve être réglé par la direction suivant laquelle s'écoule le flux calorifique le plus considérable.

Cette idée, extrêmement simple, paraît au premier abord facile à être vérifiée ; mais, en consultant l'expérience directe, on rencontre presque autant de cas qui lui sont contraires que de ceux qui lui sont favorables. Il se présente notamment un contraste frappant entre le rôle que jouent plusieurs métaux oxidables et ceux qui ne le sont pas, contraste qui se manifeste

même dans le cas où l'oxidation superficielle ne saurait influer sur le résultat de l'expérience. Ce sont ces anomalies fréquentes, dont on ne s'est rendu raison qu'au moyen d'hypothèses accessoires, qui m'ont engagé à tenter quelques nouvelles recherches sur le courant dans un circuit homogène et continu.

Jusqu'ici deux faits ont été solidement établis pour des circuits de cette espèce : 1° que chaque différence dans l'arrangement cristallin des molécules, 2° que chaque inégalité dans la masse des parties situées des deux côtés du point échauffé peuvent devenir la cause déterminante d'un courant.—Le premier fait résulte des expériences de MM. Seebeck et Sturgeon, faites avec des circuits ou des masses fondues et inégalement refroidies ; le second, des expériences de Mr. Becquerel, dans lesquelles on produit par l'enroulement du fil une augmentation de masse. Dans les expériences suivantes nous avons évité ces deux influences déjà bien constatées, en opérant sur des fils de métaux ductiles, cuivre et laiton, tels qu'ils sortent de la filière. Dans cet état les métaux possèdent, d'un côté, une égalité exacte dans leurs dimensions et dans la distribution de leur masse, de l'autre, le degré d'homogénéité moléculaire le plus parfait qu'on puisse leur communiquer artificiellement.

Les extrémités du fil destiné à être soumis à l'échauffement furent mises en rapport avec les bouts d'un excellent galvanomètre de Gourjon. Mais bientôt on remarqua que, pour obtenir quelque uniformité dans les résultats, il n'était pas permis d'établir la communication par l'intermédiaire du mercure. Ce métal, ainsi que l'ont de nouveau constaté les expériences de Mr. Vorsselman de Heer, se range sous le rapport thermo-électrique parmi les corps les plus négatifs, de sorte que le moindre échauffement ou refroidissement accidentel des fils qui y sont plongés, produit un courant bien prononcé, qui dans le circuit marche du côté le plus chaud vers le plus froid. En conséquence, la jonction avec le galvanomètre a toujours

été établie *directement*, comme dans l'appareil Melloni, en implantant l'extrémité du fil, convenablement amincie, dans les petits tubes liés aux fils de jonction du galvanomètre (voyez fig. 1 *a* et *b*). En outre, afin d'éloigner d'une manière plus complète encore toute communication de la chaleur aux points de jonction, le fil soumis à l'expérience a toujours été pris d'une longueur de 120 à 140 centimèt., et conduit des deux côtés, sur une étendue de 20 à 25 cent., à travers une grande masse d'eau maintenue à la température de la chambre. Il restait ainsi pour les expériences une longueur *c d*, de 60 à 80 cent. à peu près, à laquelle on donnait la forme d'une courbe horizontale.

Pour opérer l'échauffement on se servait d'une lampe à esprit-de-vin, brûlant d'une flamme bien égale et bien tranquille. La température pouvait être élevée jusqu'à 400° à peu près.

Première expérience. — On prit un fil de cuivre de $2^{mm},94$ de diamètre. Quand on échauffa un point quelconque de l'étendue *c d*, nulle déviation ne fut observée; c'est la preuve directe la plus certaine de l'homogénéité parfaite du circuit, sous le rapport thermo-électrique. Cette absence de toute action se montra encore quand on échauffa simultanément, ou l'un après le refroidissement de l'autre, deux points suffisamment distants. — Ainsi l'effet de la chaleur en un point ne produit aucune modification capable de faire naître un courant par l'échauffement d'un second point, sitôt que la distance est suffisante pour que toute communication de la chaleur de l'un à l'autre soit interceptée. Ce résultat est facile à prévoir quand on adopte l'hypothèse d'un double courant répondant à la double direction dans laquelle se propage le flux calorifique. En effet, si en un point la conductibilité électrique se trouve être altérée par l'échauffement, cette altération devra également affecter les deux courants provenant du second point échauffé, et ne pourra donc pas troubler leur équilibre.

Deuxième expérience. — Sur un second fil *a b* (fig. 2) du

même calibre que le précédent, on marqua par un léger trait d'abord le milieu α de l'arc entier, puis des deux côtés les points 1, 2, 3, 4 . . . distants entre eux de 3 cent. ; puis on transporta la lampe de α successivement sous les points 1, 2, 3 . . ., en laissant chaque fois s'écouler un intervalle de temps suffisant pour que le galvanomètre revînt à 0° ou à peu près. On obtint ainsi les résultats suivants :

Point échauffé.	Déviation observée.	Sens du courant.	Retour de l'aiguille.
α	0		0
N° 1 vers *a*	3°,5	de *a* vers *b*	0,0
2 id.	1,7	id. id.	0,3
3 id.	1,4	id. id.	0,2

Jusqu'ici l'échauffement n'avait chaque fois duré qu'un moment, jusqu'à l'apparition de la première coloration d'oxide. Dans les expériences suivantes, on a progressivement élevé la température jusqu'à la naissance de la troisième couche d'oxidation, ce qui peut répondre à une température de 250° à 300°.

N° 4 vers *a*	2°,2	de *a* vers *b*	0,2
5 id.	3,8	id. id.	0,2
6 id.	5,8	id. id.	0,1
7 id.	7,3	id. id.	0,1
8 id.	7,8	id. id.	0,0

Nous voyons donc que, lorsque les points échauffés sont assez rapprochés pour qu'il y ait transport de calorique de l'un à l'autre, il se développe un courant allant, au point le plus récemment échauffé, du côté non encore affecté vers le côté précédemment échauffé.

Troisième expérience. — Dans l'expérience précédente l'échauffement n'avait point atteint le maximum que comportait la lampe dont on se servait ; de même le refroidissement n'avait jamais été complet. Ainsi l'on reprit l'opération avec le même fil, mais cette fois dans le sens inverse, c'est-à-dire en commençant par le point n° 8, et avançant vers le milieu α. De plus, afin de régulariser les effets, on fixa la durée de l'échauffement à une minute, et celle du refroidissement à dix minutes,

intervalle suffisant pour ramener le fil sensiblement à la température ambiante.

N° 8	vers *a*	5°,5	de *a*	vers *b*	0,0
7	id.	2,4	*b*	*a*	0,0
6	id.	6,5	id.	id.	0,1
5	id.	8,2	id.	id.	0,0
4	id.	9,3	id.	id.	0,0
3	id.	9,4	id.	id.	—0,1
2	id.	9,6	id.	id.	0,0
1	id.	10,4	id.	id.	0,0
α		11,0	id.	id.	0,1

L'accord du sens de la déviation dans la première observation, relative au point n° 8, avec la dernière du numéro précédent, quoique les deux expériences fussent séparées par un intervalle de temps de plusieurs heures, prouve que ce n'est pas à la présence du calorique, même dans une partie latérale du circuit, mais à une modification matérielle permanente que son action y a laissée, que doit être attribué le développement du courant.

Il résulte en second lieu des observations subséquentes, que l'application d'un plus haut degré de chaleur que celui qui a été précédemment employé, en augmentant cette modification intérieure permanente, renouvelle le courant dans un sens tel, que la partie la moins modifiée se comporte, mais à un degré inférieur, envers la partie qui l'est le plus, comme le côté non encore échauffé envers celui qui l'a été. Plus on approche du milieu α, limite de la partie du fil soumise à l'expérience, plus aussi le courant devient prononcé.

Quatrième expérience. — On a maintenant continué l'expérience, toujours suivant le même système régulier, en échauffant successivement les points 1, 2, 3 . . . situés du côté encore intact *b*.

N° 1	vers *b*	11°,8	de *b*	vers *a*	0,0
2	id.	11,3	id.	id.	0,1
3	id.	10,4	id.	id.	0,0
4	id.	10,2	id.	id.	0,2
5	id.	11,0	id.	id.	0,3
6	id.	11,9	id.	id.	0,0
7	id.	12,3	id.	id.	0,2
8	id.	10,5	id.	id.	0,0
9	id.	10,0	id.	id.	0,0

Les déviations sont devenues aussi régulières que la nature de l'expérience semble le comporter, ce qui démontre qu'il existe une dépendance bien déterminée, d'une part, entre la modification intérieure que subit le fil et le degré de chaleur employé, d'autre part, entre le courant et cette même modification. Tant que d'un côté se trouve une étendue de fil suffisamment grande, qui a passé par la température maximum, et de l'autre une étendue considérable encore intacte, aussi longtemps il y a constance dans l'effet produit. Ainsi, en promenant d'un mouvement lent et uniforme la lampe le long d'un fil de cuivre, il en résulte un courant régulier et constant, marchant en sens inverse de l'échauffement.

Cinquième expérience. — En revenant, à partir du point n° 9 le plus récemment échauffé, sur tous les points qui l'avaient été antérieurement, et opérant toujours d'après le même procédé régulier, l'on obtint les nombres suivants, que nous transcrivons en entier, afin de bien faire ressortir l'état où se trouve le fil.

N° 9	vers *b*	10°,0	de *b*	vers *a*	0,0
8	id.	7,6	id.	id.	0,3
7	id.	4,5	id.	id.	0,2
6	id.	3,3	id.	id.	0,2
5	id.	0,3	id.	id.	0,5
4	id.	1,0	de *a*	vers *b*	0,1
3	id.	1,3	id.	id.	0,1
2	id.	0,5	de *b*	vers *a*	0,1
1	id.	0,8	id.	id.	0,2
a		0,7	id.	id.	0,0
N° 1	vers *a*	0,0	—		0,0
2	id.	0,1	de *a*	vers *b*	0,0
3	id.	0,0	—		0,0
4	id.	0,2	de *a*	vers *b*	0,0
5	id.	0.1	id.	id.	0,1
6	id.	1,2	id.	id.	0,0
7	id.	4,3	id.	id.	0,3
8	id.	9,9	id.	id.	0,0

Il ressort de l'ensemble de ces observations, qu'il existe, dans cette partie d'un fil qui a été soumise en tous ses points à une même température assez élevée, une distribution remarquable de la force électromotrice (ce mot étant pris dans l'acception

la plus générale), laquelle rappelle la distribution de l'électricité statique dans la pile non fermée ou dans une tourmaline échauffée, ou bien celle de l'attraction magnétique dans un barreau aimanté. La partie moyenne d'un tel fil est devenue complétement indifférente à toute influence calorifique, inférieure à celle qu'on avait antérieurement employée, tandis qu'en approchant des extrémités la force électromotrice augmente des deux côtés en sens inverse, et atteint sa plus grande valeur aux extrémités mêmes. Il ne faut toutefois pas perdre de vue, qu'en échauffant un point intérieur, quoique voisin d'une extrémité, le courant développé n'est en aucun cas un effet direct de la position de ce point, puisque celui-ci se trouve placé entre des parties modifiées de la même manière; mais un effet indirect, dépendant de la faculté qu'il a de communiquer selon sa distance, par conductibilité, plus ou moins de chaleur à l'extrémité même où commence le contraste des parties modifiées. Ce ne sont réellement que les deux extrémités mêmes et les portions du circuit qui en sont voisines, qui possèdent un certain pouvoir électromoteur.

Sixième expérience. — La faculté électromotrice qui réside dans les extrémités d'une portion modifiée d'un fil est au reste parfaitement constante, tant qu'on fait agir la même température; c'est ce qui ressort des observations suivantes, dans lesquelles l'échauffement a, comme précédemment, toujours duré une minute, et le refroidissement 10 minutes.

N° 8 vers *a*	9°,9	de *a* vers *b*	0,0
9 vers *b*	9,1	*b* vers *a*	0,6
8 vers *a*	9,4	*a* vers *b*	— 0,2
9 vers *b*	9,2	*b* vers *a*	0,0
8 vers *a*	9,7	*a* vers *b*	0,0
9 vers *b*	9,4	*b* vers *a*	0,1
8 vers *a*	10,6	*a* vers *b*	0,0
9 vers *b*	8,3	*b* vers *a*	0,3
8 vers *a*	9,2	*a* vers *b*	— 0,2

Cette même constance d'état se retrouve également dans les points devenus indifférents, ce qui, au reste, est une conséquence immédiate des observations précédentes.

Septième expérience. — Le fil de cuivre, comme tous les métaux qui sortent de la filière, possède un haut degré d'écrouissage, c'est-à-dire une dureté et une élasticité considérables, qui proviennent de la pression qu'exerce le bord de l'ouverture de la filière sur le cylindre métallique qu'on y fait passer. Les molécules semblent s'accommoder, par suite de leur rapprochement forcé, à un état d'équilibre insolite vers lequel elles gravitent, ainsi que l'indique l'élasticité, avec plus de force que dans l'état de ductilité ordinaire. Quoique le tirage du fil de cuivre se fasse à froid, ce métal étant à de basses températures plus maniable qu'à des températures plus élevées, l'influence d'une forte chaleur sur le fil écroui est de même nature que pour tous les autres métaux. Par son effet l'écrouissage est détruit, et les molécules sont ramenées à un équilibre inerte, tel que celui qui caractérise l'état de ductilité. Ce changement paraît être accompagné d'une dilatation transversale du fil.

D'après cela, il est assez naturel d'admettre que la modification intérieure, dont dépend la naissance du courant dans les expériences que j'ai décrites, n'est autre chose que la destruction plus ou moins complète de l'état de dureté élastique, dû à l'écrouissage. Pour vérifier cette supposition, on a soumis pendant 5 minutes à une forte chaleur rouge, un troisième fil du même rouleau que les précédents, puis on l'a laissé très-lentement refroidir. Ce fil, soumis sur dix points consécutifs aux mêmes épreuves que les précédentes, n'a donné presque aucune déviation appréciable au galvanomètre; en deux points seulement l'aiguille a fléchi de 0°,1 et 0°,2.

Huitième expérience. — Nous avons désiré éclaircir le même point par l'expérience inverse, c'est-à-dire en rendant au fil précédent, devenu parfaitement indifférent par l'incandescence, un certain degré d'écrouissage. D'abord on le soumit, l'un des bouts étant serré dans un étau fixe, à une simple traction de main, opérée par secousse : on n'obtint aucune déviation ap-

préciable. Puis on le fit passer deux fois par la filière, de façon à le réduire du diamètre 2mm,97, qu'il possédait originairement, à celui de 2mm,51. L'élasticité était alors assez sensible, cependant très-faible en comparaison de ce qu'elle était à l'état neuf du fil. En transportant la lampe du milieu α vers le côté *b*, et laissant chaque fois le fil reprendre la température de la chambre, on obtint les déviations suivantes :

N° 1	vers *b*	0,0	—		0,0
2	id.	0,3	de *b*	vers *a*	0,0
3	id.	0,4	id.	id.	—0,1
4	id.	0,6	id.	id.	0,1
5	id.	0,8	id.	id.	0,0
6	id.	1,0	id.	id.	0,2

Le courant est faible, mais, quant à sa direction, conforme aux premières expériences. Lorsqu'on répéta l'opération en sens inverse, du milieu α vers le côté *a*, l'effet fut toujours sensible, cependant plus faible encore.

Le fil fut de nouveau soumis à un étirage répété, ce qui réduisit son diamètre à 1mm,77. Quoique sensiblement plus faible qu'à l'état neuf, l'élasticité avait néanmoins augmenté d'une manière très-notable. Les nombres suivants, que nous reproduisons en entier pour démontrer la constance de l'effet, furent obtenus en prolongeant la durée de l'échauffement jusqu'à 5 minutes, et en changeant alors subitement la position de la lampe d'un point à l'autre.

	Milieu α	0,1	de *b*	vers *a*
N° 1	vers *a*	0,1	id.	id.
2	id.	1,8	id.	id.
3	id.	2,4	id.	id.
4	id.	3,3	id.	id.
5	id.	4,4	id.	id.
6	id.	4,7	id.	id.
7	(observation manquée)			
8	id.	4,9	id.	id.
9	id.	4,7	id.	id.
10	id.	4,2	id.	id.
11	id.	4,3	id.	id.
12	id.	4,6	id.	id.
	Milieu α	3,6	de *a*	vers *b*
N° 1	vers *b*	3,4	id.	id.
2	id.	3,8	id.	id.

N° 3	vers *b*	3,8	de *a*	vers *b*
4	id.	4,1	id.	id.
5	id.	4,2	id.	id.
6	id.	4,3	id.	id.
7	id.	4,1	id.	id.
8	id.	3,9	id.	id.
9	id.	3,8	id.	id.
10	id.	3,8	id.	id.
11	id.	3,6	id.	id.
12	id.	3,0	id.	id.
13	id.	3,2	id.	id.
14	id.	3,1	id.	id.
15	id.	3,1	id.	id.

Ici le résultat est plus prononcé, surtout si on tient compte du moindre diamètre du fil, en vertu duquel le transport du calorique d'un point au suivant se trouvait être affaibli. Mais, ce qui est curieux, le sens est contraire de ce qu'il était jusqu'ici. Malheureusement ces observations ne sont pas bien comparables aux précédentes, attendu qu'on ne laissait pas au fil le temps de se refroidir. Cette circonstance dans un fil entièrement indifférent ne suffit toutefois pas pour faire naître un courant considérable.

Malgré cette anomalie, qui mérite d'être étudiée, nous croyons pouvoir conclure que ce sont les différences moléculaires qui se manifestent dans l'élasticité et la ductilité, qu'il faut considérer comme la cause immédiate des courants observés.

Neuvième expérience. — Nous avons, dans ce qui précède, exposé avec tous leurs détails les résultats obtenus avec des fils de cuivre de gros calibre, notre but étant de laisser parler les faits comme le meilleur moyen de faire ressortir la nature du phénomène. Ajoutons que plusieurs autres fils du même métal, d'un calibre peu différent, ont été soumis aux mêmes épreuves et avec le même succès. Il se présente donc naturellement cette double question : ces résultats peuvent-ils réellement être considérés comme généraux ? se vérifient-ils encore sur des fils d'un diamètre plus mince et sur des métaux de nature différente ?

Quant au premier point, nous l'avons jusqu'à présent à peine

abordé. A la vérité, l'expérience précédente semble y répondre négativement, mais elle ne peut être envisagée comme suffisante. Un fil neuf de cuivre, d'une épaisseur de $1^{mm},76$, même numéro que celui de l'expérience précédente, fut traité de la même manière, en échauffant chaque point pendant 5 minutes, et transportant immédiatement la lampe sous le point suivant.

	Milieu *α*	0,0	—
N° 1	vers *a*	3,2	de *a* vers *b*
2	id.	5,4	id. id.
3	id.	5,1	id. id.
4	id.	4,3	id. id.
5	id.	2,7	id. id.
6	id.	1,4	id. id.
7	id.	0,2	id. id.
8	id.	1,1	id. id.
9	id.	4,5	id. id.
	Milieu *α*	4,8	de *b* vers *a*
N° 1	vers *b*	4,9	id. id.
2	id.	4,8	id. id.
3	id.	3,9	id. id.
4	id.	0,3	id. id.
5	id.	0,3	de *a* vers *b*
6	id.	0,4	de *b* vers *a*
7	id.	1,3	id. id.
8	id.	3,8	id. id.

Ces nombres manquent, comme on voit, de l'uniformité désirable, et semblent indiquer une grande inégalité dans le fil, l'action devenant en certains points presque nulle, en d'autres même négative. Au total, le courant a la direction normale, comme dans les gros fils. Nous devons ajouter, toutefois, d'abord que l'expérience n'a pas été conduite avec les précautions suffisantes, puis qu'en général la méthode employée, savoir de changer la lampe sans intervalle pour le refroidissement, mérite peu de confiance, ce dont nous ne nous sommes convaincu que trop tard. Immédiatement après le transport de la lampe, l'aiguille prend ordinairement un élan considérable et irrégulier qui, dans le cas actuel, suivait toujours la direction normale, et abandonnait l'aiguille à une continuelle agitation.

Dixième expérience. — Quant au second point, l'influence

de la nature du métal, nous avions l'intention de l'étudier dans toute son étendue ; mais des circonstances imprévues étant venues interrompre pour quelque temps le cours de nos recherches, nous ne pouvons rapporter que quelques faits relatifs au fer et au laiton.

Un fil de fer de 2^{mm},62 de diamètre, et d'une élasticité moyenne, fut soumis au procédé d'échauffement et de refroidissement employé pour les gros fils de cuivre. On observa les déviations suivantes :

	Milieu *α*	0,6	de *a* vers *b*	0,0
N°	1 vers *a*	5,4	id. id.	0,4
	1 vers *b*	6,1	de *b* vers *a*	0,2
	2 vers *a*	6,9	de *a* vers *b*	0,3
	2 vers *b*	6,0	de *b* vers *a*	0,0

Ces variations sont parfaitement régulières et dirigées dans le même sens, comme dans le cuivre ; seulement elles se manifestent plus promptement et sont, pour des fils de même grosseur, plus faibles dans le rapport de 3 à 2 à peu près.

Onzième expérience. — Le même procédé fut appliqué à un fil de laiton de 2^{mm},73 d'épaisseur. Toutefois, afin d'obtenir tout de suite un jugement sur la régularité de l'action, notamment sur le renversement du courant selon le côté où se trouve la partie modifiée, on transporta la lampe à différentes reprises d'un côté à l'autre du milieu *α*, et on l'éloigna ou la rapprocha des points précédemment modifiés. Nous ne transcrirons plus les angles auxquels l'aiguille revient chaque fois, attendu qu'ils peuvent être entièrement négligés.

	Milieu *α*	0,0	—
N°	1 vers *a*	9,9	de *b* vers *a*
	1 vers *b*	12,0	de *a* vers *b*
	2 vers *a*	18,7	de *b* vers *a*
	2 vers *b*	17,5	de *a* vers *b*
	9 vers *a*	0,0	—
	2 vers *b*	17,2	de *a* vers *b*
	3 vers *a*	18,7	de *b* vers *a*
	4 id.	18,5	id. id.
	5 id.	17,7	id. id.
	6 id.	16,9	id. id.
	7 id.	11,8	id. id.
	8 id.	6,5	id. id.

Cette diminution provient de la présence du point déjà modifié n° 9.

12	vers *b*	2,0	de *b*	vers *a*
11	id.	13,7	id.	id.
10	id.	12,5	id.	id.
9	id.	10,8	id.	id.
8	id.	14,3	id.	id.
7	id.	14,1	id.	id.
6	id.	12,2	id.	id.
5	id.	14,2	id.	id.
4	id.	7,8	id.	id.
3	id.	0,5	id.	id.

Ce dernier point est situé entre deux points qui précédemment avaient été chauffés.

Tous ces résultats pouvaient être prévus, seulement le courant est supérieur en énergie et constamment opposé à ce qu'il était dans le cuivre et le fer ; il marche, au point échauffé, du côté modifié vers celui qui ne l'est pas. Ainsi, même dans ce cas en apparence le plus simple, et où certes les causes influentes sont réduites au moindre nombre possible, apparaissent ces contrastes bizarres entre des métaux de nature différente.

Nous avons également vérifié pour le laiton l'indifférence complète d'un fil, qui antérieurement a été exposé à la chaleur du rouge naissant. Les déviations qu'on observa ne surpassèrent guère un degré, et se trouvaient réparties de la manière la plus irrégulière, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Douzième expérience. — Les effets avec le laiton étant assez prononcés, nous avons choisi ce métal pour l'étude de l'influence que peuvent acquérir différentes circonstances dans le mode d'échauffement. Le transport subit de la lampe d'un point au point suivant, sans refroidissement intermédiaire, trouble, comme nous l'avons expliqué (expér. 9), la régularité des résultats. Mais cet effet est accompagné, en apparence du moins, d'une augmentation très-prononcée de la force du courant, ainsi que le démontre la série suivante, obtenue avec un nouveau morceau du même fil de $2^{mm},73$, qu'on échauffait en chaque point pendant une minute.

N° 12	vers *a*	0,1	de *a*	vers *b*
11	id.	2,2	id.	id.
10	id.	6,5	id.	id.
9	id.	11,4	id.	id.
8	id.	15,0	id.	id.
7	id.	19,8	id.	id.
6	id.	22,5	id.	id.
5	id.	24,1	id.	id.
4	id.	25,6	id.	id.
3	id.	24,9	id.	id.
2	id.	25,8	id.	id.
1	id.	25,8	id.	id.
Milieu	*a*	25,9	id.	id.
° 12	vers *b*	0,7	de *b*	vers *c*
11	id.	2,8	id.	id
10	id.	5,6	id.	id
9	id.	8,7	id.	id
8	id.	11,8	id.	id
7	id.	15,4	id.	i(
6	id.	18,2	id.	iu.
5	id.	20,3	id.	id.
4	id.	21,8	id.	td.
3	id.	18,6	id.	id.
2	id.	13,0	id.	id.
1	id.	2,2	id.	id.

La différence réelle, entre ce cas et celui où il y a chaque fois refroidissement, consiste en ce que des parties du circuit, situées de l'un ou de l'autre côté du point échauffé, l'une non-seulement est modifiée, mais soumise de plus, sur une longueur plus ou moins grande, à une température élevée. Dans le laiton, cette seconde cause agit de manière à accroître le courant poussé vers le côté intact du fil. S'il était prouvé que dans tous les métaux elle se manifeste dans le même sens, nous y trouverions l'explication la plus simple de l'affaiblissement et du renversement du courant dans les expériences 8 et 9, faites d'après le procédé dont nous nous occupons. Mais cette supposition est inadmissible, attendu qu'on observe une augmentation de force toute semblable dans le courant normal des fils de cuivre de gros calibre. Il se présente, en effet, une explication bien plus simple de cette action accessoire, dans la considération très-probable, qu'une seule minute d'échauffement ne peut guère suffire pour porter un fil un peu fort au maximum de température. Dans ce cas chaque point recevant l'in-

fluence directe de la flamme, après avoir emprunté par communication, des points voisins qui le précèdent, une certaine quantité de chaleur, sa température doit en être d'autant élevée, de sorte que le 3e, le 4e, le 9e point peut-être pourront approcher du maximum. L'expérience suivante vient à l'appui de cette manière de voir.

Treizième expérience. — Le même fil de laiton fut amené par un échauffement suffisant, sur une étendue qui embrassait 25 points, à l'état de ductilité parfaite, que comportait l'efficacité de la lampe. Puis on fit passer la flamme sous toute la série des points, en la maintenant sous chacun d'abord 1/4 de minute, puis 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2 minutes, toutefois sans intervalle pour le refroidissement. Avant chaque série, on laissait le fil revenir à la température ordinaire. Il serait trop long et entièrement inutile de transcrire ici les six séries d'observations qu'on obtint ainsi, et dont chacune était composée de 25 déviations. Quelques résultats suffiront à notre but.

1° Le premier point de la série, le plus favorablement placé pour développer un courant, mais privé de toute chaleur de communication, développa pour des durées d'échauffement de

	1/4	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2 min.
un courant de	6°,0	11°,0	19°,4	27°,0	26°,3	26°,1

2° Le dernier point, par contre, placé de manière à jouir au plus haut degré de l'avantage de recevoir la chaleur transmise, donna dans les mêmes cas :

12°,1	22°,5	24°,9	24°,0	24°,6	25°,0

Ainsi, dans le premier point, le maximum d'effet ne s'établit que pour 1 1/2 minute d'échauffement; dans le dernier, dès 1/2 minute à peu près.

3° Le maximum du courant dans chaque série d'observations, provenant de la plus haute température à laquelle parvient le point extrême (le seul actif d'après ce qui a été dit à l'expér. 4), ne s'établit pour les échauffements de 1/4 min. que

lorsque la lampe a avancé jusqu'au 3e point ; pour ceux de $^1/_2$ min., lorsqu'elle se trouve sous le second ; pour ceux d'une minute et plus, pendant sa présence sous le premier point même.

4° Le courant provenant de la température du premier point ne cesse pour les durées de $^1/_4$ min., que lorsque la lampe est parvenue au 18e point, c'est-à-dire qu'après un espace de temps de 4 $^1/_2$ min.; celui du dernier point ne commence qu'avec le 7e point en avant de l'extrémité. Pour des durées d'une minute et plus, la répartition devient régulière ; les points sensiblement efficaces sont de chaque côté au nombre de 8 à 9, tandis que les 6 ou 8 points du milieu restent entièrement inactifs.

5° On remarque, en général, qu'à partir de 1 $^1/_2$ min., la distribution et la force du courant ne changent plus quand on prolonge l'échauffement, et qu'elles coïncident exactement avec ce qu'elles seraient si l'on permettait chaque fois au fil de revenir à la température ambiante. Ainsi, lors d'un échauffement un peu prolongé, les points voisins de celui qui est exposé à la flamme ont le temps de revenir à des températures où leur influence calorifique propre disparaît.

6° Enfin, l'effet maximum, de 26° à 27°, pour le fil employé, surpasse toujours encore, quoique faiblement, le maximum observé dans l'expérience onzième.

En général, un examen attentif de tous ces faits nous a convaincu qu'il n'était pas nécessaire d'admettre, outre l'influence de la chaleur pour détruire l'écrouissage, de la part de cet agent aucune autre action spéciale, productive d'un courant.

Quatorzième expérience. — La constance du courant pour des échauffements très-prolongés a été constatée au moyen d'un fil neuf de cuivre du même numéro que ceux qui ont été employés dans les premières expériences ($2^{mm},94$). La lampe restait sous chaque point 15 minutes, pendant lesquelles on faisait trois fois la lecture de l'angle de déviation. Il est inutile

de dire que le courant était toujours normal ou dirigé du côté non modifié au côté modifié. Quand on omit les premiers points, pour lesquels, comme on sait, le courant n'est pas au maximum, les points ultérieurs donnèrent les résultats suivants :

Point échauffé.		Durée de l'échauffement. 5 min.	10 min.	15 min.	Différence.
N° 5	vers *b*	6°,7	5,8	5,9	— 0,8
6	id.	6,5	6,1	5,9	— 0,6
7	id.	7,2	6,7	6,5	— 0,7
8	id.	7,4	6,5	6,5	— 0,9
9	id.	7,6	7,6	7,3	— 0,3
10	id.	7,4	7,4	7,4	0,0
11	id.	8,5	8,2	8,2	— 0,3
12	id.	8,7	8,1	8,0	— 0,7
13	id.	8,5	8,2	8,2	— 0,3

Nous observons, dans tous ces cas, une légère diminution du courant pendant l'exposition à la lampe Désirant savoir si cet effet avait une limite ou n'en avait point, on prolongea l'action de la flamme, au point suivant, jusqu'à une heure de temps.

						Différence.
N° 14	vers *b*	5	minut.	8°,4	déviat.	
id.	id.	10	id.	8,2	id.	— 0,2
id.	id.	15	id.	8,2	id.	0,0
id.	id.	20	id.	8,1	id.	— 0,1
id.	id.	25	id.	7,9	id.	— 0,2
id.	id.	30	id.	8,0	id.	+ 0,1
id.	id.	35	id.	7,7	id.	— 0,3
id.	id.	40	id.	7,5	id.	— 0,2
id.	id.	45	id.	7,3	id.	— 0,2
id.	id.	50	id.	7,4	id.	+ 0,1
id.	id.	55	id.	7,1	id.	— 0,3
id.	id.	60	id.	7,5	id.	+ 0,4

Il paraîtrait, d'après ces nombres, qu'à partir de 40 min. il n'y a plus de diminution sensible, de sorte que l'affaiblissement durant la première demi-heure doit plutôt être considéré comme un effet passager, dont à la vérité nous ne saurions indiquer d'autre cause, qu'une action moléculaire lente dans les parties non modifiées du fil, à moins qu'il ne dépende simplement, ce que nous ne saurions maintenant affirmer, d'un changement dans l'intensité de l'action de la lampe.

Quinzième expérience. — Les phénomènes dont nous nous sommes occupés jusqu'ici ont tous pu être ramenés à une cause immédiate unique, la destruction totale ou partielle de l'écrouissage, c'est-à-dire la transformation de l'équilibre élastique en équilibre ductile des molécules. Si, maintenant, l'on veut rattacher cette cause immédiate aux vues générales de Mr. Becquerel sur la liaison entre le sens du courant thermo-électrique et le flux calorifique, il faut supposer, ce qui à priori ne paraît pas absurde, qu'il existe une différence notable dans les qualités thermiques du même métal selon ses deux états moléculaires. Dans le cuivre et le fer ce serait l'état ductile, dans le laiton l'état élastique, qui jouirait de la faculté de provoquer le flux de chaleur le plus considérable. Des trois qualités thermiques d'un corps, qui en général influent sur l'écoulement du calorique, savoir le rayonnement, la chaleur spécifique et la conductibilité, ce n'est guère que de la dernière qu'il peut être question ici. D'une part, l'état superficiel, dont dépend le rayonnement, ne paraît point susceptible de grandes modifications, surtout lorsqu'on tient compte de la couche d'oxide qui se forme des deux côtés également ; d'autre part l'influence de la chaleur spécifique disparaît, comme on sait, de tous les phénomènes où les corps sont parvenus à un état permanent de température. Il serait donc important de vérifier, par des expériences directes, si réellement la conductibilité des métaux change d'une manière appréciable avec leur état moléculaire. Nous n'avons pas pu entreprendre de recherches à ce sujet ; difficiles en elles-mêmes, elles le deviendraient encore plus par la nécessité d'employer les fils mêmes, qui ont servi dans le circuit. Nous avons, par contre, tenté quelques expériences en vue de produire des différences dans le flux calorifique, au moyen de circonstances agissant extérieurement sur le fil. Quoique bien incomplets, nous allons rapporter les résultats tels qu'ils ont été obtenus.

D'abord nous avons examiné la question, si dans nos fils de

cuivre et de laiton des modifications dans la faculté rayonnante superficielle seraient capables de faire naître un courant. A partir du point α, destiné à subir l'influence de la chaleur, le côté *a* d'un fil de cuivre de $2^{mm},94$, fut noirci à la fumée de camphre, tandis que le côté *b* reçut un poli parfait. La lampe étant placée sous le point de séparation des deux parties, on obtint un courant faible de $0^{o},7$, allant de *a* vers *b*, ce qui s'accorde avec la théorie. Les points n°s 1, 2, 3, 4, donnèrent un courant analogue, variant entre 0,6 et 0,9, après qu'on eut étendu jusqu'à eux la couche de noir de fumée; mais en passant à d'autres points 10 et 11, l'effet non-seulement s'évanouit, mais reparut avec une déviation de 0,2 dans le sens contraire. D'après cela, nous sommes portés à attribuer les déviations observées, en partie du moins, plutôt à une hétérogénéité moléculaire du métal, suscitée peut-être par son mode de refroidissement lors de la détrempe, qu'à l'effet du rayonnement.

Seizième expérience. — Dans l'espoir d'obtenir un résultat plus positif, nous avons soumis à l'épreuve la partie moyenne du fil de laiton, qui avait servi dans les expériences 11 et 12. D'abord on noircit le côté *a* et on polit le côté *b*, puis, dans une seconde expérience, on rendit au côté *a* son poli, et l'on couvrit au contraire le côté *b* d'une couche d'encre de Chine. On obtint les résultats suivants :

	Le côté *a* noirci.		Le côté *b* noirci	
Durée de l'échauffem.	Déviation.	Direction.	Déviation.	Direction.
1/2 minute	2°,4	de *b* vers *a*	0,8	de *b* vers *a*
1 id.	3,0	id. id.	1,1	id. id.
1 1/2 id.	2,7	id. id.	1,2	id. id.
2 id.	2,3	id. id.	1,3	id. id.
2 1/2 id.	2,0	id. id.	1,4	id. id.
3 id.	1,7	id. id.	1,5	id. id.
3 1/2 id.	1,6	id. id.	1,5	id. id.
4 id.	1,6	id. id.	1,4	id. id.
4 1/2 id.	1,5	id. id.	1,5	id. id.
5 id.	1,4	id. id.	1,3	id. id.
6 id.	1,2	id. id.	1,2	id. id.
7 id.	1,2	id. id.	1,2	id. id.

Un échauffement plus long ne trouble plus l'égalité des deux courants. Ainsi, abstraction faite d'une cause constante, qui agit de même dans les deux cas et dont nous n'avons pas à nous occuper, nous ne reconnaissons que dans les premières minutes un effet qui puisse être rattaché au rayonnement, effet qui trouverait un terme dans la formation d'une couche suffisante d'oxide. Nous avouons, cependant, concevoir nous-même quelques doutes sur la justesse de ces conclusions. Lorsqu'il s'agit d'actions si faibles, on ne saurait assez se prémunir contre toutes les causes perturbatrices, et de légères circonstances accidentelles peuvent acquérir une influence prépondérante ; de plus, d'autres expériences tentées avec des surfaces polies, qu'on opposait à des surfaces rudes ou couvertes d'une couche de blanc de céruse, n'ont pas fourni des résultats satisfaisants. Toujours est-il que les inégalités dans le rayonnement, loin de pouvoir servir de cause déterminante aux phénomènes dont nous nous occupons, ne peuvent guère les affecter d'une manière sensible.

Dix-septième expérience. — Quelques autres recherches ont été entreprises dans le but de provoquer un courant à l'aide du refroidissement continu de l'un des côtés du circuit, l'autre côté restant à l'état naturel. Un fil de cuivre de $2^{mm},94$ de diamètre, rendu ductile par l'incandescence, fut plié de manière à pouvoir être plongé, sur une longueur de 15 cent., dans un bocal d'eau froide, ainsi que l'indique la fig. 3. La lampe fut tantôt placée d'un côté du bocal, tantôt de l'autre, à peu près à 25^{mm} du point d'immersion du fil. Le liquide à cette place était en ébullition continuelle. Quoique répétée plusieurs fois avec le plus grand soin, cette expérience ne donna aucune déviation prononcée.

Pensant que le point échauffé était trop éloigné de la partie refroidie, et que le liquide en contact avec la partie chaude du fil ne pouvait aisément se renouveler, l'on disposa l'appareil comme l'indique la fig. 4. Le fil de cuivre, qu'en même

temps l'on choisit d'un diamètre plus mince, de 1^{mm},76, afin de faciliter la soustraction du calorique, fut faiblement plié et fixé dans un large tube de verre rempli d'eau, qu'on maintint dans une position inclinée. Le fil pénétrait dans le liquide sur le bord même du tube sans cependant le toucher, et sur ce point l'on avait dirigé un courant d'eau froide, provenant d'un vase à écoulement constant. La lampe pouvait être rapprochée jusqu'à venir en contact, pour ainsi dire, avec le point du fil qui pénétrait dans le liquide. Mais dans ce cas encore, malgré les avantages de l'arrangement, nul effet régulier et prononcé ne fut obtenu. Il faut en conclure, que la soustraction du calorique par des moyens tels que nous les avons employés, est insuffisante à engendrer un courant sensible.

Dix-huitième expérience. — La disposition dont on s'était d'abord servi dans l'expérience précédente fut également employée quand on remplaça l'eau par le mercure. La conductibilité plus grande du métal favorisait l'écoulement calorifique, tandis que d'un autre côté la plus grande capacité spécifique et la transformation en vapeur donnaient l'avantage au liquide aqueux. Cette expérience a fourni un courant bien prononcé, comme l'indiquent les nombres suivants :

Point de l'échauffement.	Durée de l'échauffement.					Direction du circuit.
	1 min.	2 min.	3 min.	4 min.	5 min.	
vers *b*	2,2	1,8	2,6	2,7	2,7	de *a* vers *b*
vers *a*	5,0	5,8	6,1	6,3	6,2	de *b* vers *a*
vers *b*	1,4	2,2	2,3	2,4	2,5	de *a* vers *b*
vers *a*	6,6	7,3	7,9	8,3	8,5	de *b* vers *a*

Ici l'on ne peut douter de l'existence d'un courant, qui change de direction quand on change le côté du bocal où se trouve la lampe ; les différences en grandeur tiennent à quelque irrégularité dans la disposition de l'appareil et de la lampe. Mais ce qu'il importe de considérer, c'est que le courant a une direction tout opposée à celle qu'exigerait la théorie, puisqu'il marche du côté refroidi vers celui qui ne l'est pas. Aussi ne doutons-nous pas qu'une tout autre circonstance que

celle que nous étudions, est la vraie cause de ce courant. En effet, là où le métal pénètre dans le mercure, le contact des deux métaux à l'état chaud produit une force électromotrice très-énergique ; le mercure s'empare du fluide négatif, le cuivre du fluide positif, et, tandis que la majeure partie des fluides séparés se retrouve dans la partie froide du liquide, une faible portion, suivant les lois ordinaires de la transmission du courant électrique, s'écoulera par le chemin plus long du galvanomètre.

Dix-neuvième expérience. — Le fil de cuivre tout à fait ductile, qui avait servi dans l'expérience 16, fut en un point (n° 1 vers *a*) exposé à l'action permanente de la lampe, puis subitement refroidi de l'un ou de l'autre côté par l'application d'un liquide froid au moyen d'un pinceau. Il n'en résulta aucune déviation régulière, seulement une certaine agitation dans la position de l'aiguille.

Le même procédé fut alors appliqué au fil de même calibre, dont on s'était servi dans l'expér. 9, en choisissant pour l'échauffement le point n° 8 vers *b*, le dernier, en partant du milieu, qui avait subi l'influence directe de la lampe. L'effet d'un refroidissement subit fut ici bien différent. Aussitôt qu'on appliqua le liquide froid sur des places assez chaudes pour que le liquide ne pût y rester sans être transformé avec bruissement en vapeur, l'aiguille prit un élan très-vif, et oscilla un moment autour d'une position qui répondait à un courant allant du côté chaud vers le côté refroidi. Cet effet était tout à fait régulier, en tant qu'il se renouvelait à chaque refroidissement, et qu'il se produisait de l'un des côtés aussi bien que de l'autre. Il cessait aussitôt que le liquide avait disparu, et ne dépendait en aucune manière de la nature de ce dernier. L'eau pure, les acides, les alcalis, les sels, les liquides qui s'évaporaient complétement, comme ceux qui laissaient un résidu sur le fil, tous agissaient de même, ce qui paraît indiquer que ni l'action chimique sur le fil, ni l'évaporation en elle-même n'étaient la cause du courant observé.

On peut remarquer, au reste, que le sens du courant est le même que celui du plus grand flux calorifique; cependant, pour accorder les deux expériences contradictoires que nous venons de rapporter, il faudra admettre qu'encore ici l'élasticité du fil joue un certain rôle. Si elle ne détermine pas le sens même du courant, qui réellement est le contraire de ce qu'on devrait attendre, en comparant l'action du refroidissement sur le cuivre à l'effet de la trempe sur l'acier, elle influe du moins sur la faculté de produire en général un courant. Dans le premier fil, dans lequel la dépendance des molécules entre elles est détruite à un bien plus haut degré que dans le second, la faculté de produire un courant semble s'être également perdue ou avoir été réduite à une valeur inappréciable. Ces expériences ont, au reste, besoin d'être répétées et variées plus que nous ne l'avons fait.

Nous convenons volontiers que la plupart des expériences qui précèdent laissent beaucoup à désirer, que plusieurs sont très-incomplètes et défectueuses; aussi ne les offrons-nous que comme un premier aperçu, auquel nous espérons bientôt donner plus d'extension et de précision. Nous avons cru que, même dans cet état imparfait, elles auraient l'avantage d'appeler l'attention sur une circonstance, qui jusqu'ici paraît avoir été négligée, et qui a dû singulièrement compliquer et embrouiller certaines recherches thermo-électriques. En résumé, les faits que nous croyons avoir convenablement établis, sont les suivants :

1° Un fil métallique, dans un état parfait d'homogénéité moléculaire, ne développe pas de courant par l'échauffement d'un point unique quelconque.

2° Sitôt qu'il existe des différences dans l'équilibre moléculaire du fil, chaque point qui sépare deux parties hétérogènes est susceptible de donner naissance à un courant.

3° Ce courant pour différents métaux, pris dans les mêmes dimensions, diffère en direction et en intensité. Dans le cuivre et le fer, il va des parties plus élastiques aux parties plus ductiles; dans le laiton, c'est le contraire. Dans le laiton, il est plus intense que dans le cuivre, dans celui-ci plus que dans le fer.

4° Toutes les manipulations mécaniques et physiques, auxquelles on soumet un fil, influent sur sa faculté de produire un courant, aussitôt qu'elles font naître des différences dans l'équilibre moléculaire de ses différentes parties.

5° Par un échauffement prolongé et suffisant, on ramène le fil à un état de ductilité parfaite, auquel répond une inertie complète sous le rapport thermo-électrique.

6° La force du courant, dans un fil élastique, dépend du mode et de la durée de l'échauffement auquel on expose successivement les différents points de ce fil. Mais en répétant le même procédé, il s'établit enfin un état constant, dans lequel les mêmes effets se reproduisent aux mêmes points.

7° Il paraît, qu'outre la nature et la grosseur du fil et son mode d'échauffement, d'autres circonstances, inconnues encore, influent sur le sens et la force du courant, de sorte que le même métal par exception peut donner des effets différents et même contraires.

8° L'inégalité dans le pouvoir rayonnant des deux parties, situées des deux côtés du point échauffé, ne paraît pas influer notablement sur les phénomènes dont il s'agit, à l'exception peut-être des premiers moments où commence l'échauffement.

9° De même, dans un fil rendu inerte par la destruction de l'élasticité, la soustraction continue de calorique d'un côté du point échauffé ne suffit pas pour développer un courant.

10° L'application subite d'un froid extérieur, par contre, peut, dans un fil doué d'un certain degré d'élasticité, devenir la cause déterminante d'un courant.

Terminons par quelques considérations sur la théorie de ces phénomènes.

D'abord on peut remarquer qu'il existe, quant à l'étendue des parties actives, une différence notable entre le développement du courant, tel que nous l'avons examiné, et la plupart des autres cas où il y a production d'électricité dynamique. En effet, dans toutes les piles et appareils analogues, il y a certaines sections bien déterminées du circuit, auxquelles est restreinte l'action électromotrice, tandis que les autres parties n'agissent qu'en vertu de leur pouvoir conducteur : ainsi dans les piles hydro-électriques les sections de contact entre le liquide et les métaux, dans les piles thermo-électriques ordinaires les sections où il y a contact entre les deux métaux, sont les parties, en petit nombre, uniquement actives. Par contre, dans le cas dont nous nous occupons, à partir du dernier point qui a été amené à l'état de ductilité, tous les points suivants, jusqu'à ceux qui n'ont point été altérés dans leur élasticité originelle, contribuent au développement de l'électricité, puisqu'ils servent de séparation à des parties dont l'état moléculaire est un peu différent. Le courant qu'on observe est donc la somme de tous les courants partiels, produits sur toutes les sections de la portion du circuit dont l'état moléculaire est variable, et il ne pourra être exprimé au point de vue mathématique, qu'au moyen d'une intégrale prise entre certaines limites déterminées.

Pour former cette intégrale suivant l'esprit de la théorie qui attribue au mouvement de la chaleur la production du courant, il faut nécessairement préciser le principe de cette théorie, plus qu'on ne l'a fait jusqu'ici. Or, en considérant la marche du courant comme liée au flux de la chaleur, il ne suffira pas, pour avoir le sens de ce courant, de tenir compte des quantités de calorique qui à chaque moment partent de la source calorifique pour se répandre vers l'un et l'autre côté du circuit, et d'en prendre la différence. En effet, toutes les sections dans lesquelles existe un flux de chaleur quelconque, ont évidem-

ment le même droit à être prises en considération, et doivent être envisagées comme parties actives. Ainsi ce ne sera pas du flux de la première section qu'il faudra faire le calcul, mais des quantités entières de chaleur qui, au même instant, se trouvent en mouvement dans toutes les sections de l'un et de l'autre côté, quantités à côté desquelles, comme on sait, la partie qui se perd par rayonnement peut être négligée.

Soit donc α (fig. 5) la partie également échauffée d'un fil, a le côté qui se trouve à l'état de ductilité parfaite, b le côté à l'état d'élasticité variable ; soit l la conductibilité constante de la première partie du circuit, $l' = l - \lambda$ la conductibilité variable de la seconde en un point quelconque x ; λ variera d'un point à un autre et dépendra *directement* de la modification moléculaire qu'a subie le point x, *indirectement* de la température qui a produit cette modification, température que nous supposons être parvenue à un état de permanence ; ω étant la section du fil, le flux de chaleur en un point x, dont la température est u, sera comme on sait :

$$\omega \,.\, l \,.\, \frac{du}{dx}$$

sur le côté entièrement modifié du circuit, et

$$\omega\,(l - \lambda)\,\frac{du}{dx}$$

sur celui qui ne l'est que partiellement. Multipliant par dx et intégrant de $x = 0$ où la température est au maximum U, jusqu'à $x = \infty$, où elle est zéro, c'est-à-dire égale à celle du milieu ambiant, nous aurons les flux entiers de chaleur f, f', dont la différence

$$f - f' = \int_0^\infty \lambda \,\frac{du}{dx}\, dx$$

décidera du sens et de l'intensité du courant.

Dans le cuivre et le fer en gros fils, λ serait une quantité po-

sitive, dans le laiton une quantité négative. Cette quantité, la diminution ou augmentation de conductibilité, suivant le degré d'élasticité, devra être considérée comme une fonction $\varphi(u)$ de la température; ce qui donnera

$$f - f' = -\int_0^U \varphi(u)\, du.$$

Ainsi le résultat dépend uniquement de la conductibilité, ainsi que nous l'avions annoncé à l'expér. 14, et de la fonction inconnue $\varphi(u)$ qu'on ne pourra déterminer qu'au moyen d'expériences spéciales sur le pouvoir conducteur du même métal à différents états. Ces expériences, suivant qu'elles démontreront oui ou non, une dépendance entre la transmission calorifique et le degré d'élasticité ou de ductilité, décideront de la valeur de la théorie du mouvement calorifique.

Si elles fournissent un résultat négatif à l'égard de cette théorie, il ne paraît guère possible qu'on trouve une autre explication des phénomènes dont nous parlons, qu'au moyen de la théorie du contact proprement dit. La force électromotrice résiderait alors dans le contact des différentes sections du circuit, rendues hétérogènes par une différence dans leur constitution moléculaire. Il est aisé de prouver, qu'en partant de ce principe, on arrive à obtenir pour la force du courant une expression de la même forme que celle qui a été donnée précédemment. En effet, tout le côté à l'état de ductilité homogène restant inactif, l'action ne dépendra que de la portion du fil située du côté où l'élasticité n'est pas entièrement détruite. Nommons $\psi(u)$ le dégagement électrique dans une longueur du fil égale à l'unité, lorsque les extrémités ont des états moléculaires répondant aux températures u et $u+1$. La longueur dx donnera un dégagement $\psi(u)\,dx$, la température aux extrémités étant alors u et $u + dx$. Supposons maintenant une différence du entre les températures extrêmes de l'élément dx, et admettons la proportionnalité du développement électrique

et de la différence des températures ; nous aurons dans la partie dx un dégagement

$$\psi(u)\frac{du}{dx}\cdot dx$$

et en somme un dégagement

$$\int_0^{\infty}\psi(u)\frac{du}{dx}\cdot dx = -\int_0^{U}\psi(u)\,du$$

expression de même forme que celle que nous avions obtenue pour la première théorie, ne différant que par la signification des quantités $\varphi(u)$ et $\psi(u)$, dont l'une se rapporte à la conductibilité, et l'autre à la force électromotrice du contact.

Alb. MOUSSON.

Zurich, 15 *janvier* 1844.

PREMIER MÉMOIRE SUR DIVERS PHÉNOMÈNES D'INDUCTION, par Mr. Elie WARTMANN, professeur à l'Académie de Lausanne[1].

---

1. Les phénomènes d'induction électrique ont été étudiés depuis quelques années par un grand nombre de physiciens. Il reste cependant beaucoup à désirer sur la détermination des lois qui les régissent et sur l'établissement d'une théorie qui lie toutes ces lois.

2. Je me propose, dans ce premier mémoire, de faire con-

[1] Extrait du tome X, n° 10 des *Bulletins de l'Acad. roy. de Bruxelles*. — Les principaux résultats de ces recherches, et quelques-uns de ceux qu'on trouvera dans le second mémoire, ont été communiqués à la Société de Physiq. et d'Hist. natur. de Genève, dans les séances du 7 avril et du 6 octobre 1842 ; ainsi qu'à la Société des Sciences naturelles du Canton de Vaud. (*Bulletins* n° 3, pages 63, 65, 68 ; n° 5, p. 112.)

naître divers résultats nouveaux que j'ai obtenus. Je chercherai, plus tard, à montrer quelle est leur relation avec d'autres phénomènes électriques, soit inédits, soit déjà connus, en essayant d'esquisser cette théorie générale qui manque à la science.

§ 1. *Description des appareils.*

3. J'ai construit une *grosse hélice* triple en enroulant à la fois, sur une grande bobine de bois, trois fils de cuivre entourés de soie et parfaitement recuits. Ces fils ont chacun $23^{m},6$ de long et $0^{m},003$ de diamètre. Ils sont disposés de manière que, dans toutes les circonvolutions, le fil du milieu conserve sa position à l'égard des deux autres. C'est ce fil que je désignerai pour abréger par *fil induit*, réservant le nom de *fils inducteurs* à ses deux voisins indifféremment. Leur diamètre est suffisant pour qu'ils ne soient jamais échauffés par les courants auxquels on les soumet. La bobine est creusée d'une ouverture destinée à recevoir, dans certains cas, un cylindre de fer doux de $0^{m},17$ de long, sur $0^{m},05$ de diamètre.

4. Une *petite hélice* a aussi été formée de trois fils de cuivre, mais n'ayant pas plus de $0^{m},0008$ de diamètre. Deux d'entre eux sont égaux et font cinq cents tours chacun ; le troisième, un peu plus épais, ne fait que soixante-quinze révolutions sur le cadre rectangulaire en bois qui forme l'intérieur de l'appareil : on peut introduire dans ce cadre un parallélipipède de fer doux. Cette hélice diffère de la première, en ce que les fils, dans leurs couches superposées, sont toujours de même sens et ne se croisent pas.

5. Les instruments mesureurs qui ont été employés sont les suivants :

a. Un rhéomètre multiplicateur de trois mille tours, auquel un système presque astatique d'aiguilles fort légères, donne une extrême sensibilité ; je l'appellerai *rhéomètre hydro-électrique*.

b. Un second rhéomètre également très-délicat, et que je nommerai *rhéomètre thermo-électrique*, parce que son fil est plus gros et ne forme que soixante-quinze révolutions.

c. Un *thermomètre métallique* de Bréguet, dont l'hélice, composée d'argent, d'or et de platine, présente quarante-six tours libres de spire. Elle est disposée de manière qu'elle puisse être placée dans un circuit voltaïque. L'instrument apprécie 0°,0714 cent. [1].

d. Une *aiguille* dite *astatique*, dont le cercle divisé en degrés a 0m,102 de diamètre; on pouvait tendre horizontalement, dans le plan du méridien magnétique, des fils métalliques de diverses dimensions, qui devenaient ainsi parallèles à l'axe de l'aiguille.

e. Une petite *hélice pour l'aimantation*, formée d'un fil de cuivre argenté de 0m,00065 de diamètre, faisant quatre-vingt-quatorze révolutions autour d'un tube de roseau.

6. La pile employée est construite d'éléments séparés et à force constante. Les zincs sont des cylindres amalgamés et pleins, de 0m,15 de long et 0m,045 de diamètre; ils sont baignés dans une dissolution de chlorure sodique renfermée dans une baudruche. Les cuivres sont des cylindres creux de 0m,06 de diamètre, plongés dans une solution saturée de sulfate cuivrique. L'énergie de cet appareil se soutient pendant plus de cinq heures sans variations bien sensibles [2].

7. Les *fils additionnels* dont il sera question ont tous été soigneusement recuits; ils ont les dimensions suivantes. (*Voy. le tableau page* 37.)

8. Dans toutes les expériences relatées dans ce mémoire, il ne sera question que des courants induits par la clôture du circuit voltaïque, à moins que le contraire ne soit expressément indiqué.

[1] Pour la description complète de cet instrument, voyez *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, t. IX, p. 123, ou *Archives de l'Electricité*, t. I, p. 77.

[2] *Archives de l'Electricité*, t. II, p. 597.

NOMS DES FILS.	LONGUEURS.	DIAMÈTRES.
	mètres.	mètres.
Fil de cuivre.	9,510	0,00072
Fil de platine	0,435	0,00033
Fil de laiton n° 1. . . .	9,760	0,00230
Fil de laiton n° 2. . . .	15,640	0,00025
Fil de fer n° 1	1,830	0,00034
Fil de fer n° 2	6,743	0,00150
Fil de fer n° 3	22,128	0,00020

9. Les nombres cités dans les tableaux sont la moyenne de plusieurs lectures concordantes. Cette moyenne était essentielle à obtenir, soit comme garantie contre les variations d'intensité de la pile, soit surtout à cause de la difficulté des lectures lorsque les aiguilles, cédant à une action déviatrice instantanée, parcourent un arc dont il faut apprécier l'amplitude exacte.

10. Les aiguilles des rhéomètres coïncidaient ordinairement avec le septième degré à droite ou à gauche du zéro de la graduation, lorsqu'elles étaient en équilibre. N'ayant pas de boussole des sinus à ma disposition, je me suis efforcé de ne laisser aux courants les plus intenses qu'une énergie qui ne fît pas dévier l'index de plus de trente à quarante degrés, afin de pouvoir considérer l'angle décrit comme sensiblement proportionnel à la force qui agissait sur l'aiguille.

§ II. *Induction d'un fil constant par un fil variable.*

11. On a fermé le circuit du fil induit de la grosse hélice avec le rhéomètre thermo-électrique. Le circuit de l'un des fils inducteurs a été également *clos* en plongeant ses deux extrémités dans une capsule pleine de mercure. Enfin on a mis en communication l'autre fil inducteur avec une pile de deux éléments, soit directement, soit par l'intermédiaire du fil de laiton n° 2, dont on a fait varier la longueur.

12. Des expériences réitérées ont montré que : *pour des*

longueurs de fil additionnel croissant en progression géométrique, les intensités du courant induit, mesurées au rhéomètre, diminuent en progression arithmétique (α).

13. Les mêmes essais ont été répétés en *ouvrant* le circuit du second fil inducteur, toutes les autres circonstances restant invariables. Leurs résultats ont été les suivants :

a. Pour des longueurs de fil additionnel croissant en progression géométrique, les intensités du courant induit, mesurées au rhéomètre, diminuent encore en progression arithmétique (β).

b. L'intensité du courant induit, mesurée au rhéomètre, est plus grande lorsque le circuit du second inducteur est fermé que lorsqu'il est ouvert (γ).

c. De l'existence des lois (α) et (β) résulte que *pour des longueurs de fil additionnel croissant en progression géométrique, les différences d'intensité du courant induit, mesurée au rhéomètre, lorsque le second fil inducteur est fermé et lorsqu'il est ouvert décroissent suivant une progression arithmétique* (δ).

14. Soit M, l'intensité du courant induit mesurée au rhéomètre (terme général de la progression arithmétique);

T, le terme correspondant de la progression géométrique;

a, le premier terme de la progression arithmétique;

e, le premier terme de la progression géométrique (unité de longueur du fil additionnel);

r, la raison de la progression arithmétique ;

q, la raison de la progression géométrique.

Ces quantités sont liées par les relations

$$M = a - r\left(\frac{\log T - \log e}{\log q}\right)$$

$$T = e\, q^{\left(\frac{a - M}{r}\right)}$$

15. Les tableaux suivants serviront de preuve de ces divers énoncés. On y a désigné par *r* la raison de la progression arithmétique.

Longueurs du fil additionnel $q=2$.	2me FIL INDUCTEUR FERMÉ. Déviations du rhéomètre observées	calculées. $r=2°,33$.	DIFFÉRENCES. Erreur moyenne $=0°,75$.	2me FIL INDUCTEUR OUVERT. Déviations du rhéomètre observées.	calculées. $r=1°,50$.	DIFFÉRENCES Erreur moyenne $=0°,21$.
1	19°,00	19°,00	0°,00	14°,00	14°,00	0°,00
2	19,00	16,66	— 2,34	15,00 [1]	12,50	— 2,50
4	16,50	14,33	— 2,17	11,00	11,00	0,00
8	13,00	12,00	— 1,00	9,00	9,50	+ 0,50
16	10,00	9,66	— 0,34	7,00	8,00	+ 1,00
32	7,00	7,33	+ 0,67	7,00	6,50	— 0,50
64	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00	0,00

[1] Ce résultat anormal est ou une erreur de lecture de l'aide, occasionnée par le peu d'intervalle des divisions du cadran, ou une suite de l'échauffement du fil sous l'influence du courant.

DÉVIATIONS DU RHÉOMÈTRE CALCULÉES.

LONGUEURS additionnelles. $q=2$.	2me FIL INDUCTEUR. fermé.	ouvert.	EXCÈS.	DIFFÉRENCES constantes.
1	19°,00	14°,00	5°,00	0°,84
2	16,66	12,50	4,16	0,83
4	14,33	11,00	3,33	0,83
8	12,00	9,50	2,50	0,84
16	9,66	8,00	1,66	0,83
32	7,33	6,50	0,83	0,83
64	5,00	5,00	0,00	

16. Des lois logarithmiques précédentes, on devait conclure que *lorsqu'un fil conducteur d'un courant est lié à un autre fil contourné en hélice, sa conductibilité, mesurée par*

l'intensité du courant qu'il est capable d'induire, varie pour différentes portions de sa longueur suivant une autre loi que lorsqu'il complète seul le circuit, en admettant qu'il y a proportionnalité entre le courant inducteur et le courant induit, comme plusieurs physiciens le pensent (ε).

17. Pour vérifier cette conjecture, on a disposé le fil de cuivre parallèlement à l'axe de l'aiguille astatique situé dans le plan du méridien magnétique, et on a observé l'amplitude *maximum* de l'arc parcouru par cette aiguille, ainsi que la valeur de sa déviation stable, dans les diverses alternatives suivantes (le fil additionnel de cuivre étant uni avec le premier fil inducteur pour fermer le circuit d'une pile de deux éléments) :

a. Le circuit du second inducteur et celui du fil induit étant tous deux clos ;

b. Ces deux circuits étant ouverts ;

c. L'un étant fermé, l'autre ouvert ;

d. Le circuit du fil induit étant fermé par une pile d'un couple, et celui du second inducteur étant ouvert ;

e. Enfin, les mêmes conditions existant que pour le cas *d*, mais le circuit du second inducteur étant fermé par du mercure.

18. Ces épreuves ont amené les résultats suivants :

a. *L'état de clôture ou d'ouverture simultanée ou séparée des circuits du fil induit et du second fil inducteur n'a aucune influence sur l'intensité du courant inducteur* (ζ).

b. *Cette intensité diminue en progression arithmétique pour des longueurs du fil inducteur qui croissent en progression géométrique* (η).

c. *L'intensité du courant inducteur est indépendante de la présence ou de l'absence d'un courant voltaïque dans le fil induit; elle ne varie pas avec l'état de fermeture ou d'ouverture du circuit du second inducteur* (θ).

19. Les tableaux ci-joints renferment la confirmation de ces lois.

LONGUEURS du fil additionnel. $q=2$.	LECTURES A L'AIGUILLE ASTATIQUE.			DIFFÉRENCES. Erreur moyenne =0°,90.
	IMPULSIONS.	DÉVIATIONS observées.	DÉVIATIONS calculées. $r=2°,90$.	
1	100°,00	34°,50	34°,50	0°,00
2	90,00	31,50	31,60	+0,10
4	80,00	31,00	28,70	— 2,30
8	70,00	28,00	25,80	— 2,20
16	60,00	24,00	22,90	— 1,10
32	44,00	20,00	20,00	0,00

INTENSITÉS DU FIL INDUCTEUR MESURÉES A L'AIGUILLE ASTATIQUE, AMPLITUDES ET DÉVIATIONS.

Longueurs du fil additionnel. $q=2$.	2me INDUCTEUR FERMÉ.			2me INDUCTEUR OUVERT.			2e INDUCT. FERM. OU OUV.		
	AMPLITUDES observées	AMPLITUDES calculées. $r=12°,25$	DIFFÉR. Erreur moyenne. =0°,76	AMPLITUDES observées	AMPLITUDES calculées $r=11°,50$	DIFFÉR. Erreur moyenne. =2°,57.	DÉVIATIONS observées	DÉVIATIONS calculées. $r=3°,00$	DIFFÉR. Erreur moyenne =0°,97
1	117°,50	117°,50	0°,00	113°,00	113°,00	0°,00	38°,00	38°,00	0°,00
2	105,00	105,25	+0,25	104,50	101,50	—3,00	35,30	35,00	—0,30
4	99,00	93,00	—6,00	99,50	90,00	—9,50	34,50	32,00	—2,50
8	79,50	80,75	+1,15	81,00	78,50	—2,50	30,00	29,00	—1,00
16	70,00	68,50	—1,50	70,00	67,00	—3,00	28,00	26,00	—2,00
32	55,50	56,25	+0,76	55,50	55,50	0,00	24,00	23,00	—1,00
64	44,00	44,00	0,00	44,00	44,00	0,00	20,00	20,00	0,00

20. Afin de réunir toutes les démonstrations désirables de l'exactitude de ces résultats, j'ai répété avec le même fil, et dans des circonstances semblables, des expériences sur sa conductibilité en fonction de sa longueur, le fil et le rhéomètre thermo-électrique étant seuls dans le circuit. J'ai trouvé, comme il était aisé de le prévoir, des valeurs qui s'accordent avec la formule de Mr. Ohm [1]. Ainsi, la remarque (16) se trouve bien établie.

§ III. *Induction d'un fil constant par deux fils dont l'un est variable.*

21. En partant des faits précédents, on pouvait s'attendre à trouver des résultats semblables pour l'induction simultanée de deux courants inducteurs sur un fil placé symétriquement entre eux. Le sujet se partageait naturellement en six cas qui ont été examinés. En appelant *courants directs*, les courants induits lors de la clôture du circuit, et *courants inverses*, ceux qui sont induits lors de sa rupture, ces six cas sont caractérisés comme suit :

a. Les deux inducteurs sont égaux et parcourus par des courants directs de même sens ;

b. Les deux inducteurs sont égaux et parcourus par des courants directs de sens contraires ;

c. Les deux inducteurs sont inégaux et parcourus par des courants directs de même sens ;

d. Les deux inducteurs sont inégaux et parcourus par des courants directs de sens contraires ;

e. Les deux inducteurs sont égaux et parcourus, l'un par un courant direct, l'autre simultanément par un courant inverse ;

[1] *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet*, p. 36.—*Des travaux et des opinions des Allemands sur la pile voltaïque :* Archives de l'Electricité, t. I, pages 36 et 46.

f. Les deux inducteurs sont inégaux et parcourus, l'un par un courant direct, l'autre par un courant inverse simultané.

22. *Premier cas*. Il exige, dans la disposition des appareils, diverses précautions pour ne mettre en jeu aucune force perturbatrice. Je trouvai que le courant de dix paires en passant dans les deux fils de la petite hélice, les échauffait assez rapidement. D'autre part, la grande conductibilité des fils de la grosse hélice faisant que chacun d'eux, pris à part, suffisait à décharger même le courant de vingt paires, les déviations du rhéomètre hydro-électrique lié au fil induit restaient les mêmes, qu'on employât les deux fils inducteurs ou un seul fil. L'arrangement qui m'a le mieux réussi, consiste à monter deux piles de dix paires, et à faire passer le courant de l'une dans le premier fil inducteur, celui de l'autre dans le second, le sens des deux courants étant le même. On trouve ainsi que *si les deux courants inducteurs sont égaux, les déviations rhéométriques qui mesurent les intensités sont doubles de ce qu'elles sont avec un seul courant, et si les courants sont inégaux les déviations sont la somme des effets de chaque courant élémentaire* (*t*).

23. *Second cas*. J'ai de même employé la grosse hélice et une pile de dix paires. Les deux fils inducteurs ont été réunis bout à bout de façon que le sens du courant dans l'un fût opposé au sens du courant dans l'autre. L'égalité de leurs dimensions et de leur conductibilité entraînait l'égalité du courant qui parcourait chacun d'eux, courant qui valait la moitié de celui de la pile. Aussi *les courants induits ont été parfaitement égaux*, et comme leurs directions étaient opposées, l'aiguille du rhéomètre est restée entièrement immobile. Le résultat était le même, qu'on rompît ou qu'on fermât le circuit (*x*).

24. On pourrait contester que les indications du rhéomètre soient bien la mesure des courants simultanément induits. Pour répondre à cette objection, j'ai substitué à cet instrument le thermomètre métallique de Bréguet. A la rupture comme à la

clôture des courants inducteurs, l'aiguille de cet appareil si délicat est restée immobile. Cette expérience, répétée un très-grand nombre de fois, a donné invariablement le même résultat[1]. J'ai aussi remplacé le thermomètre par la petite hélice ; de petites aiguilles d'acier trempé n'ont reçu, dans son intérieur, aucune aimantation à la clôture ni à la rupture des circuits inducteurs.

25. *Troisième cas.* Il a été examiné à l'aide de la grosse hélice, de deux piles de dix paires et de divers fils. J'ai été conduit aux conclusions qui suivent :

a. Lorsqu'on laisse invariable la longueur de l'un des fils inducteurs et qu'on augmente graduellement celle de l'autre, pour des longueurs du fil additionnel croissant en progression géométrique, les intensités du courant induit mesurées au rhéomètre diminuent suivant une progression arithmétique, dont le premier terme correspond à la somme des effets des fils inducteurs lorsque la longueur du fil additionnel est nulle, et dont le dernier équivaut à l'action du fil inducteur constant, pris isolément, soit à une longueur du fil additionnel telle que le circuit allongé soit infiniment moins bon conducteur que le circuit invariable (λ).

b. La valeur de la raison de la progression arithmétique varie avec la nature et les dimensions du fil additionnel employé (μ).

26. *Quatrième cas.* Il a été étudié comme le second, avec les appareils mentionnés (23). Voici les lois qui le régissent :

a. Pour des longueurs additionnelles du fil inducteur croissant en progression géométrique, *les déviations du rhéomètre*

[1] Cette expérience est intéressante par le rapprochement qu'on en peut faire avec les recherches de Mr. le professeur Dove sur les courants induits qui, égaux lorsqu'on les mesure au rhéomètre, peuvent cependant produire des actions physiologiques très-différentes. Voy. *Berichte der Berliner Akademie der Wissenschaften*, 1839, p. 163. — *Archives de l'Electricité*, t. II, p. 290.

qui mesurent la différence d'intensité des deux courants simultanément induits croissent suivant une progression arithmétique, dont le premier terme est zéro, et dont le dernier équivaut à l'action du fil inducteur constant, pris isolément, soit à une longueur additionnelle infinie (ν).

b. D'où résulte que, *pour des longueurs additionnelles qui croissent en progression géométrique, les différences entre les effets d'induction produits par les deux fils simultanément et ceux que le fil variable produit isolément diminuent suivant une progression arithmétique* (ξ).

c. La valeur de la raison de ces progressions arithmétiques varie avec la nature et les dimensions du fil additionnel employé (ο).

d. La présence ou l'absence de barreaux de fer doux dans les hélices ne modifie que l'intensité de l'induction (π).

(*Voyez les tableaux* §§ 27 *et* 28 *pages* 46 *et* 47.)

29. Ces lois ont aussi été vérifiées en substituant au rhéomètre l'hélice à magnétiser. L'aimantation prenait naissance dès qu'une longueur additionnelle modifiait l'égalité de conductibilité des deux circuits.

30. Enfin elles l'ont été à l'aide du thermomètre métallique. Le résultat de cette expérience peut s'énoncer comme suit :

Lorsqu'un courant induit est l'effet de deux courants inducteurs simultanés et de sens opposé, l'un constant, l'autre rendu variable par des longueurs de fil qui croissent (extérieurement à l'hélice) en progression géométrique, ses effets thermiques décroissent en progression arithmétique (ρ).

Il est digne de remarque que cette loi logarithmique est analogue à celle que Mr. Biot a découverte pour la propagation de la chaleur dans une barre solide [1].

31. *Cinquième cas.* On l'a examiné avec la grosse hélice, le

[1] Biot, *Traité de physique expérimentale et mathématique*, tome IV, p. 669.—Voy. aussi Poisson, *Théorie mathématique de la chaleur*, p. 250 (§ 123).

27. Les tableaux ci-joints sont destinés à servir de preuve aux énoncés (ν) et (o).

Longueurs du fil additionnel.	FIL DE CUIVRE.			FIL DE PLATINE.			FIL DE FER N° 1.			FIL DE FER N° 2.		
	DÉVIATIONS		DIFFÉR. Erreur moyenne.	DÉVIATIONS		DIFFÉR. Erreur moyenne.	DÉVIATIONS		DIFFÉR. Erreur moyenne.	DÉVIATIONS		DIFFÉR. Erreur moyenne
$q=2$.	observées	calculées. $r=2°,00$	$=0°,45$.	observées	calculées $r=2°,00$	$=0°,20$.	observées	calculées. $r=1°,60$	$=0°,34$.	observées	calculées. $r=3°,50$	$=0°,70$.
1	2°,00	2°,00	0°,00	4°,20	4°,20	0°,00	5°,50	5°,50	0°,00	3°,00	3°,00	0°,00
2	3,00	4,00	+1,00	6,50	6,20	—0,30	7,00	7,10	+0,10	5,80	6,50	+0,70
4	4,20	6,00	+1,80	8,00	8,20	+0,20	9,00	8,70	—0,30	6,50	10,00	+3,50
8	7,00	8,00	+1,00	11,00	10,20	—0,80	12,00	10,30	—1,70	10,00	13,50	+3,50
16	9,90	10,00	+1,00	13,00	12,20	—0,80	13,00	11,90	—1,10	16,00	17,00	+1,00
32	12,20	12,00	—0,20	14,00	14,20	+0,20	14,00	13,50	—0,50	20,50	20,50	0,00
64	14,20	14,00	—0,20	—	—	—	15,00	15,10	+0,10	25,00	24,00	—1,00
128	16,80	16,00	—0,80	—	—	—	16,00	16,70	+0,70	29,00	27,50	—1,50
256	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31,00	31,00	0,00

Longueurs du fil additionnel $q=3$.	FIL DE FER N° 2. DÉVIATIONS observées.	calculées. $r=7°,00$.	DIFFÉR. Erreur moyenne. $=0°,40$.	FIL DE CUIVRE. DÉVIATIONS observées.	calculées. $r=3°,00$.	DIFFÉR. Erreur moyenne. $=0°,12$.
1	3°,00	3°,00	0°,00	2°,50	2°,50	0°,00
3	8,00	10,00	+2,00	4,50	5,50	+1,00
9	17,00	17,00	0,00	8,50	8,50	0,00
27	24,00	24,00	0,00	12,00	11,50	—0,50
81	31,00	31,00	0,00	—	—	—

28. Le tableau suivant justifiera les assertions (ξ) et (o).

Longueurs du fil additionnel. $q=2$.	FIL DE CUIVRE. DÉVIATIONS observées.	calculées. $r=2°,00$	DIFFÉR. Erreur moyenne $=0°,50$.	FIL DE PLATINE. DÉVIATIONS observées	calculées. $r=2°,00$	DIFFÉR. Erreur moyenne. $=0°,30$.	FIL DE FER N° 1. DÉVIATIONS observées	calculées. $r=1°,60$	DIFFÉR. Erreur moyenne. $=0°,56$.
1	16°,20	16°,20	0°,00	12°,80	12°,80	0°,00	11°,50	11°,50	0°,00
2	15,20	14,20	—1,00	10,50	10,80	+0,30	10,00	9,90	—0,10
4	14,00	12,20	—1,80	9,00	8,80	—0,20	7,50	8,30	+0,80
8	11,20	10,20	—1,00	6,00	6,80	+0,80	5,00	6,70	+1,70
16	9,20	8,20	—1,00	4,00	4,80	+0,80	4,00	5,10	+1,10
32	6,00	6,20	+0,20	—	—	—	3,00	3,50	+0,50
64	4,20	4,20	0,00	—	—	—	2,00	1,90	—0,10
128	1,50	2,20	+0,70	—	—	—	—	—	—

rhéomètre thermo-électrique et un couple de Daniell. L'aiguille aimantée n'a jamais été déviée, quoiqu'une sorte de trépidation ou de secousse, due à la difficulté d'opérer d'une manière absolument synchrone l'ouverture de l'un des circuits et la clôture de l'autre, ait démontré l'existence de l'induction. On conclut de cette expérience que le *courant induit direct est égal au courant inverse* (σ).

32. *Sixième cas.* Etudié comme le précédent, il a conduit à la loi suivante :

En allongeant le fil destiné à engendrer l'induction directe par la clôture de son circuit de quantités croissant en progression géométrique, on trouve que le courant égal à la différence des deux actions inductrices opposées croît d'intensité en progression arithmétique (τ).

33. Voici les résultats d'une expérience qui établit la loi précédente :

Longueurs du fil additionnel. $q=2$.	FIL DE CUIVRE.		
	DÉVIATIONS		DIFFÉRENCES. Erreur moyenne. $=0°,16$.
	observées	calculées. $r=4°,00$.	
1	3°,00	2°,00	— 1°,00
2	6,00	6,00	0,00
4	10,00	10,00	0,00
8	14,00	14,00	0,00
16	18,00	18,00	0,00
32	22,00	22,00	0,00

34. Il faut prendre plusieurs précautions pour que les expériences dont je viens de relater les détails puissent être considérées comme correctes. On doit empêcher que les fils additionnels ne soient échauffés par le courant ; sans cela, leur conductibilité sous de petites longueurs cesse d'être comparable à leur conductibilité sous de grandes longueurs. Le courant d'in-

duction qui traverse le rhéomètre doit autant que possible être modéré, de manière qu'il n'altère pas le rapport d'aimantation des deux aiguilles. Le rhéomètre lui-même doit être éloigné de la spirale inductrice, à une distance suffisante pour que l'induction électro-magnétique de ses fils inducteurs ne s'y fasse pas sentir.

35. Il faut, en outre, plonger au même instant dans le mercure les deux extrémités des fils dont l'immersion doit fermer le circuit inducteur simple ou double. Il convient de détruire le contact à l'instant précis où l'aiguille tend, en vertu du mouvement acquis, à dépasser sa position d'équilibre primitive; on utilise ainsi le second courant induit pour la rendre immobile, ce qui épargne bien du temps dans des expériences longues de leur nature, et détruit l'influence des variations d'intensité du courant dans les piles mises en jeu pendant deux ou trois heures.

§ IV. *Influence de l'état de clôture ou d'ouverture du circuit induit sur l'action du courant inducteur sur lui-même.*

36. Il y a une corrélation très-grande entre le circuit inducteur et le circuit induit. Lorsque ce dernier est ouvert, on sait qu'on obtient à la rupture du courant inducteur sur le mercure des étincelles très-brillantes, dont l'éclat augmente si l'on place dans l'hélice un faisceau creux de fils de fer, et plus encore si ce faisceau est plein. Ces étincelles, assez improprement ainsi nommées, sont, je pense, produites par la combustion et la volatilisation de la gouttelette de mercure qui adhère contre l'extrémité du fil, et qui s'amincit d'autant plus que cette extrémité est plus éloignée du niveau du liquide dans son réservoir. Or, lorsqu'on ferme très-exactement le circuit induit, ces étincelles diminuent considérablement et même dispa-

raissent tout à fait [1]. Entre les deux limites de circuit ouvert et de circuit parfaitement clos à l'aide de corps très-courts, très-massifs et très-bons conducteurs, il y a une infinité de degrés intermédiaires auxquels correspondent des étincelles plus ou moins brillantes.

37. C'est ce qui explique pourquoi la fermeture du circuit induit à l'aide d'une pile voltaïque diminue l'éclat des étincelles, sans que le sens ou l'intensité du courant de cet appareil ait la moindre influence ; la pile joue évidemment le rôle d'un conducteur imparfait.

38. Lorsqu'on ferme le circuit inducteur par un voltamètre dans lequel on électrolyse de l'eau acidulée, par exemple, la quantité de gaz obtenue dans l'unité de temps est indépendante de la présence ou de l'absence des faisceaux métalliques dans la bobine ; elle ne varie également pas lorsqu'on fait passer ou qu'on arrête un courant continu de sens quelconque dans le fil induit.

§ V. *Influence de la pression atmosphérique sur l'induction.*

A. Induction statique ou *influence*.

39. Mr. Faraday s'est occupé, dans ses beaux travaux sur l'électricité, de la question du rapport qui existe entre la pression atmosphérique et l'induction statique [2]. Je vais faire connaître quelques-unes de mes nombreuses expériences sur le même sujet, expériences qui ne sont que des formes nouvelles ou variées de celles du savant physicien anglais, et qui mènent à des conclusions semblables.

40. J'ai fait usage d'une grande machine électrique dont le plateau a $0^m,85$ de diamètre, et dont les conducteurs de

[1] Mr. Abria a de même indiqué qu'un circuit placé dans le voisinage de l'inducteur n'exerce aucune réaction lorsqu'il est ouvert. Voy. *Ann. de Chimie et de Physique,* t. III, p. 10 (septembre 1841).

[2] *Experimental researches*, §§ 1613 à 1616, aussi §§ 1359, 1405, 1526 à 1543.

laiton ont chacun 0m,90 de long sur 0m,108 de diamètre. Elle donne dans des circonstances favorables des étincelles de 0m,27 à 0m,32 ; on en tire facilement à 0m,11 et 0m,16 de distance.

41. En opérant dans l'obscurité, on trouve que chaque fois qu'une étincelle est tirée de la machine, il en jaillit une purpurine entre les deux boules ou les deux pointes de charbon qui terminent, à un pouce de distance, les tiges d'un œuf électrique vide d'air ; mais cette lueur disparaît proportionnellement à la rentrée du fluide. Avec ma machine, cette apparence lumineuse[1] n'a guère lieu qu'à une distance *maximum* d'un mètre des conducteurs, et paraît d'autant plus éclatante que l'œuf en est plus rapproché. Pour chaque distance, elle reste la même, soit que l'œuf repose sur un support isolant, soit qu'on le mette en relation avec le sol par l'intermédiaire de la main ou d'une chaîne métallique.

42. Il n'est pas même nécessaire de tirer une étincelle du conducteur pour obtenir l'apparition de la lueur électrique ; elle se montre sans interruption tant qu'on tourne le plateau d'une manière un peu rapide, en plaçant l'œuf à une distance convenable.

43. Sur la platine de verre de la machine pneumatique, j'ai étendu une feuille de même nature, sur laquelle j'ai isolé une boule de laiton de 0m,048 de diamètre. Cette boule a été recouverte d'un entonnoir de verre renversé, dans le bec duquel j'ai mastiqué une tige également de laiton, épaisse de 0m,004 et terminée inférieurement par une boule de 0m,024 de diamètre. Entre les deux boules, il y avait environ 0m,019 d'intervalle. L'entonnoir a été lui-même placé sous une cloche de verre portant une boîte à cuirs et une tige qui descendait à 0m,03 de la précédente. Après épuisement d'air, les mêmes

[1] C'est celle que Mr. Faraday appelle *Glow*, et que les Allemands désignent par *das elektrische Glimmen*. On la distingue des étincelles proprement dites, *Spark*, *Brush*,-*Funke*.

phénomènes ont apparu, la platine (secondaire) employée étant mise en communication avec le sol, ou isolée sur une feuille de verre.

44. Des résultats analogues ont été obtenus en remplaçant la cloche munie de la tige métallique saillant à l'extérieur par une cloche de verre uni. Les boules étaient alors dans l'isolement et dans le vide les plus parfaits. Je faisais usage d'une machine pneumatique à double système de Mr. Babinet.

45. J'ai aussi constaté qu'en posant l'œuf électrique près d'une bouteille de Leyde de moyenne dimension et chargée à saturation, il n'y a aucune étincelle lumineuse entre les charbons, lorsque l'explosion électrique entre les deux armures a lieu instantanément, tandis qu'on en voit une très-brillante pendant toute la durée d'une décharge prolongée, telle qu'on se la procure à l'aide d'une pointe. Je crois cette observation nouvelle.

B. Induction dynamique.

46. La petite hélice a été mise sur la platine de la pompe pneumatique. A l'aide de très-minces fils de cuivre entourés de soie, on a fait communiquer le fil inducteur avec des piles de quatre et de six éléments, et le fil induit avec le rhéomètre hydro-électrique. Ces fils conducteurs, noyés dans la graisse dont on avait enduit la large surface de contact de la cloche avec la platine, n'ont point empêché de faire un très-bon vide.

47. La déviation de l'aiguille produite par le courant induit a été trouvée *indépendante* de la quantité de gaz qu'on laissait rentrer dans le récipient. Les observations ont été répétées à diverses reprises pour des différences de $0^m,025$ de hauteur de la colonne mercurielle mesurant la tension élastique, depuis le vide jusqu'à la pression atmosphérique ordinaire, $0^m,725$.

§ VI. *Examen de deux circonstances dans lesquelles les courants électriques et les aimants ne produisent pas d'induction.*

48. Depuis les travaux d'Ampère et de Mr. Faraday, sur l'électro-magnétisme et la magnéto-électricité, on ne s'est pas occupé, que je sache, de rechercher si la présence d'un aimant ou d'un courant électrique induit *toujours* de l'électricité dans les conducteurs voisins, et si l'induction a lieu *de la même manière dans tous les sens.*

49. Pour acquérir quelque donnée sur ces problèmes qui sont à la base de toute théorie solide de l'induction, il fallait examiner si un courant rectiligne induit de l'électricité sphériquement autour de chaque molécule du conducteur, supposé *électriquement isotrope* (c'est-à-dire ayant une conductibilité égale dans tous les sens). Les expériences de Mr. Faraday nous avaient appris que l'induction a lieu dans un fil situé *parallèlement* au fil inducteur, que les deux fils fussent ou ne fussent pas contournés en hélice. Les miennes m'ont prouvé que *l'induction n'a pas lieu d'une manière sensible dans un fil qui est à angle droit sur le courant.*

50. Je suis arrivé à cette conclusion par les deux méthodes suivantes. J'ai placé le fil de laiton n° 1 dans la petite hélice creuse pour l'aimantation, et, après avoir uni les extrémités de celle-ci avec le rhéomètre thermo-électrique, j'ai fermé avec le fil le circuit d'un fort élément voltaïque. A la rupture comme à la clôture, l'aiguille est restée parfaitement immobile, lors même qu'une vive étincelle sur le mercure prouvait l'intensité du courant et son induction sur lui-même.

51. J'ai remplacé l'appareil précédent par un électro-aimant et j'ai fermé le circuit de la pile par le fer de l'instrument. L'aiguille du rhéomètre, qui communiquait avec son hélice extérieure en fil de cuivre et à spires isolées les unes des

phénomènes ont apparu, la platine (secondaire) employée étant mise en communication avec le sol, ou isolée sur une feuille de verre.

44. Des résultats analogues ont été obtenus en remplaçant la cloche munie de la tige métallique saillant à l'extérieur par une cloche de verre uni. Les boules étaient alors dans l'isolement et dans le vide les plus parfaits. Je faisais usage d'une machine pneumatique à double système de Mr. Babinet.

45. J'ai aussi constaté qu'en posant l'œuf électrique près d'une bouteille de Leyde de moyenne dimension et chargée à saturation, il n'y a aucune étincelle lumineuse entre les charbons, lorsque l'explosion électrique entre les deux armures a lieu instantanément, tandis qu'on en voit une très-brillante pendant toute la durée d'une décharge prolongée, telle qu'on se la procure à l'aide d'une pointe. Je crois cette observation nouvelle.

B. Induction dynamique.

46. La petite hélice a été mise sur la platine de la pompe pneumatique. A l'aide de très-minces fils de cuivre entourés de soie, on a fait communiquer le fil inducteur avec des piles de quatre et de six éléments, et le fil induit avec le rhéomètre hydro-électrique. Ces fils conducteurs, noyés dans la graisse dont on avait enduit la large surface de contact de la cloche avec la platine, n'ont point empêché de faire un très-bon vide.

47. La déviation de l'aiguille produite par le courant induit a été trouvée *indépendante* de la quantité de gaz qu'on laissait rentrer dans le récipient. Les observations ont été répétées à diverses reprises pour des différences de $0^{m},025$ de hauteur de la colonne mercurielle mesurant la tension élastique, depuis le vide jusqu'à la pression atmosphérique ordinaire, $0^{m},725$.

---

§ VI. *Examen de deux circonstances dans lesquelles les courants électriques et les aimants ne produisent pas d'induction.*

48. Depuis les travaux d'Ampère et de Mr. Faraday, sur l'électro-magnétisme et la magnéto-électricité, on ne s'est pas occupé, que je sache, de rechercher si la présence d'un aimant ou d'un courant électrique induit *toujours* de l'électricité dans les conducteurs voisins, et si l'induction a lieu *de la même manière dans tous les sens.*

49. Pour acquérir quelque donnée sur ces problèmes qui sont à la base de toute théorie solide de l'induction, il fallait examiner si un courant rectiligne induit de l'électricité sphériquement autour de chaque molécule du conducteur, supposé *électriquement isotrope* (c'est-à-dire ayant une conductibilité égale dans tous les sens). Les expériences de Mr. Faraday nous avaient appris que l'induction a lieu dans un fil situé *parallèlement* au fil inducteur, que les deux fils fussent ou ne fussent pas contournés en hélice. Les miennes m'ont prouvé que *l'induction n'a pas lieu d'une manière sensible dans un fil qui est à angle droit sur le courant.*

50. Je suis arrivé à cette conclusion par les deux méthodes suivantes. J'ai placé le fil de laiton n° 1 dans la petite hélice creuse pour l'aimantation, et, après avoir uni les extrémités de celle-ci avec le rhéomètre thermo-électrique, j'ai fermé avec le fil le circuit d'un fort élément voltaïque. A la rupture comme à la clôture, l'aiguille est restée parfaitement immobile, lors même qu'une vive étincelle sur le mercure prouvait l'intensité du courant et son induction sur lui-même.

51. J'ai remplacé l'appareil précédent par un électro-aimant et j'ai fermé le circuit de la pile par le fer de l'instrument. L'aiguille du rhéomètre, qui communiquait avec son hélice extérieure en fil de cuivre et à spires isolées les unes des

autres, n'a nullement été déviée, même en plaçant dans le circuit une spirale plate (*coil*) assez grosse.

52. Ainsi *un conducteur voltaïque n'induit des courants dans les conducteurs voisins que parallèlement à sa direction.* C'est à cause du parallélisme entre les courants qui enveloppent les aimants (d'après Mr. Ampère) et les plis de l'hélice extérieure de l'électro-aimant que l'approche d'un corps magnétique près du fer doux détermine des courants induits dans l'hélice, et que le passage du courant dans celle-ci magnétise le barreau. C'est aussi le même fait qui rend compte de l'action du courant voltaïque sur l'aiguille aimantée, action découverte par Mr. Oersted, et qui est le fondement de l'électromagnétisme.

53. Il restait à examiner si la présence d'un aimant ou d'un conducteur parcouru par un courant induit toujours de l'électricité dans un conducteur voisin placé d'une manière convenable? A cette question la réponse doit être *négative.*

54. On sait que si l'on approche un aimant naturel ou artificiel ou une hélice électro-dynamique d'un électro-aimant en fer doux, celui-ci, en prenant les vertus magnétiques, engendre un courant d'induction instantané dans son hélice. Mais lorsque l'approche se fait avec lenteur, le courant développé perd de son intensité, et *en faisant croître ou en diminuant la distance du fer doux à l'aimant par degrés très-retardés, on parvient à détruire complétement toute induction sensible.*

55. Les premières expériences se faisaient avec un aimant en fer à cheval, pouvant supporter plus de huit kilogrammes. Il a été suspendu à une chaîne de métal mise en relation avec l'arbre d'un tour. Un électro-aimant avait été solidement fixé sur la table au-dessous de l'aimant, et son hélice liée au rhéomètre thermo-électrique. En tournant très-lentement la manivelle, on parvint à rapprocher jusqu'à $0^{m},004$ de distance l'aimant de l'électro-aimant sans aucune induction dans l'hélice ; mais à partir de là l'attraction des aimants les ayant ame-

nés au contact à cause de l'extensibilité de la chaîne, l'aiguille fut violemment déviée.

56. On s'est alors servi d'un aimant formé de sept lames en fer à cheval, capable de soulever près de quarante kilogrammes. L'électro-aimant n'était autre que l'une des ancres de la machine magnéto-électrique dont l'aimant faisait partie. En employant le même rhéomètre, on est parvenu à rapprocher jusqu'au contact et à séparer jusqu'à une distance de plusieurs millimètres les deux pièces *sans qu'il en résultât aucune induction sensible*. On opérait à l'aide d'une vis qui faisait mouvoir très-lentement le traîneau sur lequel l'aimant était solidement retenu. L'aiguille du rhéomètre déviait de plusieurs tours dès qu'on faisait varier rapidement, quoique d'un petit arc, la position de l'ancre parallèlement aux surfaces polaires de l'aimant, à l'une quelconque des distances auxquelles l'expérience a été faite.

57. Je suis arrivé au même résultat en employant le courant voltaïque comme cause d'induction. J'ai placé dans de l'eau contenant 1/10 d'acide sulfurique un anneau cylindrique de cuivre, de manière que son axe géométrique fût vertical. Cet anneau a été lié avec l'une des extrémités du fil du rhéomètre, et à l'autre extrémité j'ai soudé une lame très-mince de zinc amalgamé, découpée en forme de languette très-effilée. Cette lame, étant plongée suivant l'axe de l'anneau, produisait un courant d'induction à très-peu près nul lorsque l'immersion s'effectuait très-lentement, tandis qu'elle en occasionnait un mesuré par 40° de déviation subite, lorsque l'immersion avait lieu rapidement.

DE L'ACTION VOLTAÏQUE DE L'OXIGÈNE DANS LA PILE A GAZ DE GROVE, par C.-F. SCHŒNBEIN. (Extrait d'un Mémoire présenté à l'Académie royale de Munich.)

J'ai essayé de démontrer, dans mon dernier mémoire sur la pile à Gaz de Grove[1], que l'hydrogène seul joue, dans cet appareil, un rôle directement électro-moteur, et que l'oxigène ne contribue que d'une manière secondaire à accroître l'intensité des effets voltaïques, et cela au moyen d'une dépolarisation que ce second gaz opère sur l'électrode négatif. Mais, dans un mémoire extrêmement intéressant qu'il a publié récemment dans les *Philos. Transact.*[2] sur la batterie voltaïque à gaz, Mr. Grove a combattu cette manière de voir par des arguments empruntés soit à la théorie soit à l'expérience. Je me propose, dans le travail qu'on va lire, d'étudier et d'apprécier la force des arguments qui ont été mis en avant par le savant physicien anglais.

Mr. Grove croit être certain que l'hydrogène seul ne peut pas plus que l'oxigène seul développer un courant voltaïque, et selon lui il faut qu'il y ait une molécule d'oxigène à l'une des extrémités d'une série continue de molécules d'eau, et une molécule d'hydrogène à l'autre extrémité, pour qu'il se manifeste un phénomène de courant lorsqu'on opère la communication voltaïque au moyen d'un arc de platine.

Mr. Grove croit trouver un argument décisif en faveur de cette opinion dans le résultat de l'expérience suivante[3]. On a placé sous une cloche de verre entièrement vide d'oxigène,

[1] Voyez *Archives de l'Electricité*, t. III (année 1843), p. 69.
[2] Voyez *Archives de l'Electricité*, t. III (année 1843), p. 489.
[3] *Philos. Transact.*, année 1843.

une pile de deux éléments, dans laquelle on a plongé alternativement un tube rempli partie d'hydrogène, partie d'acide sulfurique étendu, et un tube rempli seulement d'acide sulfurique étendu; dans le même temps un autre appareil tout à fait semblable était placé librement dans l'atmosphère. Au bout d'un petit nombre de secondes, on a vu déjà l'énergie du courant diminuer notablement dans la première pile; le lendemain, ce courant n'a plus été assez actif pour décomposer d'une manière sensible l'iodure de potassium, tandis que la pile qui était restée exposée à l'air libre, avait conservé sans altération son activité voltaïque. Au bout de quatre jours, on a remis la première pile en communication avec l'air libre, et au même moment on s'est assuré de son énergie au moyen de l'iodure de potassium. Elle n'a pas pu décomposer ce corps au premier moment; mais une minute plus tard on a déjà vu la pile produire un courant qui a exercé sur l'iodure une action sensible, et au bout de trois heures ce courant avait acquis la même énergie que le courant provenant de la pile qui était restée toujours en communication avec l'air libre.

De ce fait et de quelques autres, le physicien anglais conclut que l'hydrogène ne peut former une pile active avec de l'eau et du platine seulement, et que, pour qu'il y ait production d'un courant, il faut absolument que l'eau renferme de l'oxigène libre.

Le fait que l'oxigène semble exercer à lui seul une action électromotrice, est dû, selon Mr. Grove, à l'oxigène qui se trouve dissous dans l'eau, et à l'impossibilité de chasser complétement toute trace d'oxigène de ce liquide, même au moyen d'une ébullition prolongée. Si la pile à hydrogène qui avait été soustraite à l'influence de l'atmosphère, a cessé peu à peu d'exercer une action, le physicien anglais y voit un effet de la disparition graduelle de l'oxigène libre que renfermait le liquide de cette pile; comme aussi, selon lui, la réapparition du courant, quand on a rétabli la communication entre l'appareil

et l'air extérieur, est dû à ce qu'il a pénétré de l'oxigène de l'air dans le liquide de la pile.

On ne peut nier que, au premier abord, la conclusion déduite par Mr. Grove des faits qui précèdent ne paraisse très-exacte, et par conséquent que ma théorie ne semble suffisamment réfutée. Mais en étudiant plus attentivement ces belles expériences, on peut se convaincre que leurs résultats, loin d'être en contradiction avec mes idées, peuvent parfaitement s'accorder avec elles. Je m'explique. — Si, dans la batterie à gaz de Grove, l'oxigène augmente la force du courant en dépolarisant les électrodes négatifs, et que ce même gaz n'exerce directement aucune influence électromotrice, il est évident que, dans un liquide qui a été dépouillé de tout son oxigène libre, le courant ne peut plus avoir autant d'énergie qu'il en a lorsqu'on fait usage du même liquide dans lequel se trouve de l'oxigène libre. En effet, dans le cas dont il s'agit ; la polarité positive, que les électrodes négatifs de platine prennent sous l'influence du courant primitif de la pile, acquiert en peu de temps un degré d'énergie tel que le courant secondaire auquel elle donne lieu doit faire à peu près équilibre au courant primitif. C'est un phénomène semblable à celui qui se manifeste assez promptement dans plusieurs piles formées de deux métaux très-différents par leur facilité à s'oxider, et c'est à une dépolarisation opérée, au moyen du sulfate de cuivre ou de l'acide nitrique, sur le cuivre ou le platine employé comme électrode négatif, que sont dues l'énergie et l'uniformité du courant des piles de Daniell et de Grove.

La différence entre ma manière de voir et celle de Mr. Grove, jointe à l'importance de la question, me fait penser qu'il y aurait quelque intérêt à déterminer si une batterie à hydrogène qu'on soustrait pendant quelques jours à l'influence de l'air atmosphérique après en avoir fermé le circuit, et dont par conséquent l'eau (acidulée) qui forme un de ses éléments peut être considérée comme ne renfermant plus une trace d'oxigène li-

bre, si dis-je cette batterie ne peut pas néanmoins exercer encore quelque action sur un galvanomètre sensible. Je suis disposé à croire qu'elle le pourrait ; et si cela avait réellement lieu, on aurait ainsi la preuve que de l'hydrogène avec du platine et de l'eau peut produire un courant voltaïque.

En second lieu, il serait intéressant de savoir quel serait, sous le rapport voltaïque, l'état des électrodes négatifs d'une pile à hydrogène qui ne peut plus décomposer d'une manière sensible l'iodure de potassium. Il se pourrait que l'examen de ces électrodes fît reconnaître qu'ils présentent une polarité positive assez forte. Ces faits seraient évidemment favorables à l'opinion que j'ai avancée sur le mode d'action de l'oxigène et de l'hydrogène dans la pile à gaz de Grove. Toutefois, pour arriver à la certitude sur ce point, il faudrait faire encore les expériences suivantes.

Si l'oxigène, ainsi que je le suppose, n'exerçait qu'une action dépolarisante dans l'appareil de Grove, il est clair que l'on pourrait, sans altérer en général le résultat du courant, remplacer ce gaz par toute autre substance qui aurait, comme lui, la propriété d'absorber l'hydrogène dégagé sur l'électrode négatif de la batterie. La substance la plus convenable dans ce but serait probablement le chlorure de platine. Si donc on construisait une batterie à gaz dont les tubes renfermeraient alternativement les uns seulement de l'eau acidulée, mélangée avec du chlorure de platine, les autres de l'eau acidulée et de l'hydrogène ; si, de plus, on laissait cette batterie en activité, à l'abri de toute influence de l'air, tant qu'il resterait encore du chlorure de platine non décomposé dans l'une des séries de tubes, et de l'hydrogène libre dans l'autre, ce fait démontrerait, selon moi, qu'il est bien exact d'attribuer, dans la pile de Grove, une action voltaïque directe seulement à l'hydrogène placé sous l'influence du platine, et de n'admettre pour l'oxigène qu'une simple action de dépolarisation.

Malheureusement je n'ai point encore de pile semblable,

sans quoi j'aurais déjà fait les expériences dont je viens de parler ; je souhaite donc que Mr. Grove veuille bien s'en charger lui-même, ou tout autre physicien qui possède les appareils nécessaires.

Les faits suivants me paraissent avoir une étroite liaison avec la question qui fait l'objet de ce mémoire, et démontrer par analogie l'exactitude de mon hypothèse.—Si l'on met de l'acide hydrochlorique concentré dans deux vases séparés l'un de l'autre par un diaphragme en terre poreuse ; si, de plus, l'acide contenu dans l'un des vases, renferme du chlore libre en dissolution, et qu'on fasse communiquer entre eux les deux liquides au moyen d'une lame de platine ou d'or, il se produit un courant qui chemine de l'acide pur vers l'acide qui renferme du chlore. Or nous savons qu'un courant faible qui chemine à travers de l'acide hydrochlorique concentré ne décompose pas l'eau qui s'y trouve, mais l'acide seul ; il en résulte donc que, dans les circonstances dont j'ai parlé, le chlore libre peut à lui seul, quand il se trouve placé à l'une des extrémités d'une série continue de molécules d'acide hydrochlorique, donner naissance à un courant sans qu'il soit nécessaire de placer de l'hydrogène à l'autre extrémité de cette série. L'atmosphère ne renfermant point d'hydrogène, on ne peut pas non plus, dans le cas qui nous occupe, attribuer la production du courant à la présence fortuite de ce gaz dans le liquide, et à une action de ce même gaz, semblable à celle qu'exerce, selon Mr. Grove, l'oxigène dissous dans l'eau qui provient de l'atmosphère.

Ainsi cette pile, qui renferme du chlore et de l'acide hydrochlorique, fournit la preuve manifeste qu'un corps simple, combiné voltaïquement avec un électrolyte dont il forme un des ions ou éléments, peut développer un courant, et que, pour voir se produire un tel phénomène, il n'est nullement indispensable de mettre à l'état libre, aux extrémités d'une série continue de molécules de chaque électrolyte, les deux éléments

dont cet électrolyte est formé. Mais si le chlore seul peut développer un courant avec de l'acide hydrochlorique, pourquoi l'hydrogène ne pourrait-il en faire autant avec de l'eau? Il existe, il est vrai, entre les deux cas dont il s'agit, des différences qui ne sont pas sans importance. Dans la pile à chlore et à acide hydrochlorique, le courant est produit par l'action que le chlore libre exerce sur l'hydrogène de l'acide hydrochlorique; dans la pile à hydrogène et à eau, le courant est dû à la réaction de l'hydrogène libre sur l'oxigène de l'eau. Ainsi dans le premier cas, quand on ferme le circuit, c'est le cation, dans le second c'est l'anion qu'on enlève à l'électrolyte; et par conséquent le courant se meut dans l'une de ces piles, dans une direction opposée à celle qu'il suit dans l'autre. Une autre différence entre les deux appareils, consiste en ce que le chlore libre exerce une action électromotrice sans avoir besoin du concours d'un autre corps, tandis que l'hydrogène ne manifeste son activité voltaïque que lorsqu'il est mis sous l'influence catalytique du platine. Mais, comme il est facile de le voir, ces différences ne s'appliquent point à la question qu'il s'agit ici de résoudre, et ne font pas disparaître entièrement l'analogie qui existe entre les deux espèces de piles.

Avant de terminer cette comparaison entre la pile à chlore et à acide hydrochlorique, et la pile à hydrogène et à eau, je dois encore attirer l'attention sur une ressemblance que présentent les deux appareils. De même que l'action voltaïque de la seconde de ces piles diminue très rapidement, quand ses électrodes négatifs ne sont pas entourés d'oxigène libre ou d'une autre substance qui se combine aisément avec l'hydrogène, ainsi le courant de la première présente le même phénomène, dans le cas où ses électrodes positifs ne sont pas en contact avec une substance qui se combine aisément avec le chlore.

Il est à peine besoin de faire remarquer que, dans ce dernier cas, l'hydrogène peut servir comme substance dépolarisante, et que, mis en contact avec l'électrode positif de la pile

en question, il doit accroître indirectement l'intensité du courant qu'elle développe. On conçoit de même aisément que, dans un appareil de ce genre, l'hydrogène n'exerce pas seulement une action dépolarisante, mais qu'il agit aussi directement comme électromoteur, et cela dans le cas où l'électrode positif est formé de platine. On pourrait également, je pense, placer le simple chlorure d'étain ou de fer, en qualité de substance dépolarisante, aux électrodes positifs de la pile de chlore et d'acide hydrochlorique.

J'ai fait voir ailleurs qu'on peut, avec du brome et de l'acide hydro-bromique, construire une pile parfaitement semblable à celle dont il vient d'être question. — C'est ici également que me paraît devoir être mentionnée une autre espèce de pile qui présente la plus intime relation avec la question de savoir si l'hydrogène ou l'oxigène, combinés seuls voltaïquement avec de l'eau, peuvent exercer une action électromotrice : ce sont les piles à peroxides. On sait que de l'eau pure, mise en contact avec du peroxide de manganèse ou de plomb, développe un courant si un arc de platine ou d'autre métal est en contact par une de ses extrémités avec le peroxide, et par l'autre avec l'eau. Dans cette combinaison, la seconde proportion d'oxigène renfermée dans le peroxide joue exactement le rôle du chlore ou du brome; c'est-à-dire que cette portion de l'oxigène du peroxide se combine, quand on ferme le circuit, avec l'hydrogène de la portion de l'eau la plus rapprochée du peroxide, exactement comme le chlore ou le brome, dans des circonstances semblables, se combinent avec l'hydrogène de l'acide hydrochlorique, hydrobromique, ou même de l'eau qui les avoisine. Si donc, dans les piles à chlore ou à brome, il n'est pas nécessaire d'avoir de l'hydrogène libre pour développer un courant, il n'est pas davantage besoin, dans les combinaisons des peroxides avec l'eau, d'avoir de ce même gaz à l'état libre pour obtenir des piles actives.

Pourquoi l'oxigène libre n'exerce-t-il pas sur l'eau une ac-

tion électromotrice, comme le fait le chlore ou le brome à l'égard de l'acide hydrochlorique ou hydrobromique? C'est une question à laquelle nous ne pouvons répondre; mais nous savons que, lorsqu'il fait partie de certaines combinaisons, l'oxigène possède pour d'autres corps une affinité chimique plus grande que celle qu'il manifeste pour ces mêmes corps quand il est à l'état libre.

La moitié de l'oxigène qui est contenu, par exemple, dans les peroxides de plomb et de manganèse, se trouve dans un état chimique semblable à celui où est placé l'hydrogène à l'égard de l'oxigène par suite de l'influence catalytique du platine, ou dans lequel se trouvent déjà à l'égard de l'hydrogène le chlore ou le brome libres qui sont employés seuls. On peut concevoir d'après cela, qu'un électrolyte combiné voltaïquement avec une substance qui entre dans la composition du premier comme un de ses éléments ou de ses ions, puisse dans certains cas contribuer à former une pile active; et par conséquent les piles formées avec des peroxides et de l'eau, servent aussi à démontrer qu'il n'est nullement indispensable, pour faire développer un courant, de mettre les deux parties constituantes d'un corps électrolytique aux extrémités d'une série continue de molécules de cet électrolyte, par exemple de mettre de l'hydrogène à l'une des extrémités, et de l'oxigène à l'autre extrémité d'une série de molécules d'eau.

Cette circonstance, relative aux piles dont il vient d'être question, me paraît présenter un grand intérêt sous le rapport théorique, et pouvoir donner lieu à des conjectures remarquables. Si, par exemple, le chlore ou le brome libres, ou une partie de l'oxigène combiné dans le peroxide de plomb, ou bien l'hydrogène en contact avec le platine se trouvent, à l'égard de l'hydrogène ou de l'oxigène qui font partie de l'acide hydrochlorique et hydrobromique ou de l'eau, dans le même état où ces mêmes corps (le chlore, le brome, l'oxigène et l'hydrogène) sont dans l'acide hydrochlorique, hydrobromique

et dans l'eau, relativement à l'hydrogène ou à l'oxigène qui font partie de ces combinaisons, il serait difficile de comprendre comment le chlore ou le brome libre, l'oxigène des peroxides ou l'hydrogène soumis à l'influence catalytique du platine pourraient former des combinaisons voltaïques actives avec les électrolytes que je viens de nommer.

Il faut absolument que, par exemple, le chlore libre exerce encore, sur l'hydrogène qui fait partie de l'acide hydrochlorique, une action autre que celle que manifeste à l'égard du même gaz le chlore qui entre dans la composition de cet acide : de même, il faut qu'une partie de l'oxigène contenu dans le peroxide de plomb se comporte, à l'égard de l'hydrogène de l'eau, autrement que le fait l'oxigène de l'eau à l'égard de l'hydrogène qui fait partie de ce liquide. En d'autres termes, il faut que le chlore et le brome libres, l'oxigène du peroxide, de même que l'hydrogène soumis à l'influence du platine développent, quand ils sont placés en contact voltaïque avec des électrolytes qui renferment de l'hydrogène, une activité qui n'est pas mise en jeu dans le chlore, le brome ou l'oxigène uni à l'hydrogène ou dans l'hydrogène uni à l'oxigène.

Sans doute que, selon les principes admis par les chimistes, ce mode d'action n'a pas lieu, et, par exemple, le chlore libre ou l'oxigène d'un peroxide n'exercent, l'un à l'égard de l'hydrogène de l'acide hydrochlorique, l'autre à l'égard de l'hydrogène de l'eau, aucune action quelconque. Mais la liaison intime qui existe incontestablement entre les phénomènes voltaïques et les phénomènes chimiques, me fait croire que des hypothèses de ce genre ne peuvent pas être soutenues plus longtemps, et que le moment est venu de donner à l'espèce de phénomènes chimiques dont je viens de parler, plus d'attention qu'on ne l'a fait jusqu'à présent.

Le fait que du chlore libre peut, dans certaines circonstances, décomposer une combinaison de chlore, c'est-à-dire rendre libre le chlore qu'elle contient, et le remplacer, ce fait

s'écarte tellement des phénomènes chimiques ordinaires, qu'il présente le plus vif intérêt au point de vue théorique. Au reste, il n'est pas le seul du même genre.

SUR LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ VOLTAÏQUE, par Mr. Ch. MATTEUCCI. (*Ann. de Ch. et de Phys.*, t. X de la nouvelle série, p. 78.)

C'est un fait connu depuis longtemps que les corps simples métalloïdes, quoique liquides, ne conduisent pas le courant électrique : c'est là le cas du soufre, du brome, de l'iode, etc. Les travaux de Faraday sur la conductibilité et l'électrolysation ont en quelque sorte expliqué cette impuissance des corps simples cités, pour conduire le courant électrique. Une étude qui restait à faire, c'était celle de l'action chimique de ces mêmes corps sur les métaux, et du développement d'électricité dans cette action : c'est cette étude qui forme le sujet principal de ce mémoire. — Je fais plonger, dans un liquide séparé en deux compartiments par une membrane, deux lames métalliques dont chacune occupe un de ces compartiments. Ces deux lames sont réunies aux extrémités d'un galvanomètre qui n'est pas très-sensible. J'ai employé d'abord une patite lame de cuivre et une de platine, et de l'eau de source pour liquide. L'aiguille du galvanomètre s'est arrêtée à 4 degrés en démontrant un courant dirigé, comme il est juste, du cuivre au platine dans le liquide. Je fais alors passer un courant de chlore bien pur, et tout à fait exempt d'acide chlorhydrique, sur la lame de cuivre. Je vois l'aiguille revenir à zéro et s'y arrêter. En renouvelant plusieurs fois l'expérience, il m'est arrivé quelquefois de la voir marcher du côté opposé. Je renouvelle l'expérience après avoir mis de nouveau liquide, nettoyé les lames et attendu que l'aiguille se fixe à la déviation précédente de 4 ou 5 degrés.

Alors je fais passer le courant de chlore sur le platine et je vois l'aiguille dévier davantage, et arriver de 4 jusqu'à 25 degrés ou 3 pour 100. La direction du courant est toujours la même. J'ai répété cette expérience exactement de la même manière avec un couple d'étain et de platine; j'ai obtenu les mêmes résultats. En prenant le zinc et le platine, le fer et le platine, j'ai également observé que le passage du chlore sur la lame de platine renforçait le courant, et qu'il le détruisait lorsque l'action de ce gaz était portée sur la lame du métal électro-positif.

Au lieu de chlore j'ai employé le brome et l'iode, et les résultats ont été exactement les mêmes. J'ajouterai que dans l'action de ces corps métalloïdes sur les métaux que j'ai nommés, on voyait la combinaison chimique s'opérer : le zinc, le cuivre, l'étain, le fer, se combinaient avec le chlore, l'iode et le brome. Comment l'action de ces corps sur la lame de platine pouvait-elle augmenter l'intensité du courant? J'ai cru d'abord pouvoir m'expliquer ce fait en recourant à l'affinité du chlore pour l'hydrogène qui tend à se développer sur la lame de platine, et, par là, à la suppression du courant secondaire.

Il restait toujours à expliquer, en harmonie avec les théories générales admises, le défaut de l'action chimique des métalloïdes sur les métaux, pour développer le courant électrique. Mais avant de nier absolument ce développement dans ce cas d'action chimique, il fallait encore étendre les expériences en augmentant l'intensité de ces actions des corps métalloïdes sur les métaux, et en abandonnant par conséquent l'usage du galvanomètre.

J'ai eu recours pour cela à l'action électro-chimique du courant, et l'appareil que j'ai employé est très-simple. C'est une capsule de porcelaine dans l'intérieur de laquelle je fixe une espèce de capsule plus petite, faite de cette argile qui n'a été cuite qu'imparfaitement, et telle qu'on l'emploie pour faire le diaphragme dans les piles de Grove et de Bunsen. Je verse dans la capsule intérieure de l'eau distillée dans laquelle j'ai

dissous du sulfate de potasse, de manière à faire marquer 2 ou 3 degrés à la solution. L'espace entre la capsule intérieure et la plus grande est rempli d'une solution saturée de sulfate de cuivre, en ayant toujours soin que le niveau de ce second liquide soit de quelques millimètres inférieur à celui du liquide de la capsule interne. Je prépare alors un couple voltaïque fait d'un gros fil de platine, soudé à une lame d'un métal électro-positif. Je plonge le platine dans la solution de sulfate de cuivre, et l'autre métal dans le liquide de la capsule intérieure. On sait ce qui arrive lorsqu'un courant électrique est développé : il y a du cuivre précipité sur le platine, et du métal électro-positif dissous dans le même temps : les quantités du métal dissous et du cuivre réduit sont équivalentes entre elles. J'ai répété et varié plusieurs fois ces expériences en employant le zinc amalgamé, l'étain, le cuivre en contact d'une solution d'acide sulfurique, d'acide chlorhydrique, et j'ai toujours obtenu l'accord le plus parfait entre les résultats et la théorie. J'ai cité ces faits dans le but de confirmer et d'étendre la découverte de Faraday. Il s'agissait donc d'employer l'appareil que nous avons décrit, en agissant avec les corps simples métalloïdes sur le métal contenu dans la capsule intérieure.

Dans une première expérience, j'ai employé un couple zinc et platine, et la solution de sulfate de potasse dans la capsule intérieure. En chauffant tout l'appareil, on voit du cuivre réduit sur le platine ; en pesant le zinc pour déterminer la quantité qui s'est dissoute, et en pesant la quantité de cuivre qui s'est réduite dans le même temps, on trouve, comme nous l'avons dit, des quantités équivalentes entre elles. Je renouvelle l'expérience, et je fais passer un courant de chlore dans le liquide de la capsule intérieure, en chauffant la capsule dans le même temps ; après, je pèse le zinc et le fil de platine pour déduire la quantité de zinc qui s'est dissoute, et la quantité de cuivre qui s'est réduite. Dans un grand nombre de ces expériences que j'ai tentées, j'ai trouvé que la quantité de zinc qui s'était dis-

soute était d'un tiers, et jusqu'au double, plus grande que la quantité équivalente à celle du cuivre réduit. Evidemment cet excès de zinc s'était combiné au chlore. — Dans d'autres expériences, j'ai employé un couple cuivre et platine; le liquide dans lequel est plongé le cuivre est toujours la solution de sulfate de potasse. Avec ce couple, on n'a pas de cuivre réduit sur le platine, quand même on chauffe l'appareil. Le cuivre apparaît quand on ajoute à la solution de sulfate de potasse un peu d'acide sulfurique ou chlorhydrique. Si l'on veut obtenir une quantité de cuivre suffisante pour en déterminer le poids, il faut ajouter beaucoup d'acide sulfurique et chauffer l'appareil. Je dois ajouter qu'on n'obtient jamais réduit tout le cuivre qui se dissout; la plus grande différence que j'ai obtenue a été d'un rapport de 48 degrés de cuivre dissous à 34 degrés de cuivre réduit. Il faudrait d'autres expériences, et le sujet serait bien important, pour s'expliquer ce défaut d'accord entre la théorie et l'expérience.

En faisant agir les métalloïdes sur le cuivre, lorsqu'il n'y a qu'une solution de sulfate de potasse au contact du cuivre, on peut dissoudre des quantités assez grandes de cuivre, sans voir aucune trace de cuivre se réduire sur le platine. C'est surtout avec le brome que j'ai agi dans ces expériences, et que j'ai pu dissoudre jusqu'à 1 décigramme de cuivre, sans voir apparaître le cuivre sur le platine. Pour pouvoir dissoudre le bromure de cuivre, j'ai ajouté au liquide quelques gouttes d'acide chlorhydrique. — Dans une expérience dans laquelle j'ai pu peser le cuivre réduit, j'ai trouvé que ce cuivre n'était que la cinquième partie du cuivre dissous. Au lieu de brome, j'ai employé un courant de chlore, après avoir ajouté au liquide quelques gouttes d'acide chlorhydrique. J'ai pu dissoudre de cette manière les quantités de cuivre sans obtenir la réduction du cuivre sur le platine. J'ai encore employé un couple bismuth et platine; j'ai fait passer un courant de chlore sur le bismuth, et pour dissoudre le chlorure à mesure qu'il se formait, j'ai ajouté quel-

ques gouttes d'acide chlorhydrique au liquide. Le cuivre qui se réduit n'a jamais surpassé la moitié de la quantité qui serait équivalente au bismuth qui se dissout. Quand on n'emploie qu'une solution assez concentrée d'acide chlorhydrique pour attaquer le bismuth, le cuivre qui est réduit se trouve équivalent au bismuth dissous. J'ai opéré encore avec un couple étain et platine, en prenant pour liquide la solution de sulfate de potasse. En chauffant l'appareil, on a du cuivre réduit sur le platine, et l'on trouve exactement que l'étain qui a disparu est équivalent au cuivre réduit. Avec ce même couple j'ai agi avec un courant de chlore sur l'étain, et avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique j'ai fait dissoudre le chlorure d'étain. Alors on trouve que le cuivre réduit n'est plus équivalent à l'étain dissous. J'ai obtenu dans une expérience 20 milligrammes de cuivre pour 100 d'étain dissous ; dans une autre expérience, 22 de cuivre pour 100 d'étain ; dans une troisième, 30 de cuivre pour 100 d'étain : il y a donc à peine un cinquième de cuivre qui devrait être réduit sur le platine. Lorsque l'étain, au lieu d'être attaqué par le chlore, l'est par l'acide chlorhydrique ou par une solution concentrée d'acide sulfurique, le cuivre réduit est équivalent à l'étain dissous.

Je décrirai enfin les résultats que j'ai obtenus en employant le mercure pour métal électro-positif. Voici comment j'opère. Je prends un tube de verre dans l'intérieur duquel j'introduis le fil de platine, et je soude à la lame ce fil avec le tube, à l'un de ses bouts. Je verse un peu de mercure dans la capsule intérieure de mon appareil ; je remplis de mercure le tube de verre, et je le renverse ensuite sur le mercure de la capsule intérieure, comme on le ferait pour un baromètre. Je verse la solution de sulfate de potasse sur le mercure, et je fais plonger l'extrémité du fil de platine dans la solution de sulfate de cuivre contenue dans la capsule extérieure. Le cuivre n'est pas réduit sur le platine, pourvu que le mercure soit pur. J'ai ajouté un peu d'acide sulfurique à la solution de sulfate de potasse. J'ai

chauffé l'appareil, et le résultat a été le même; je touche pour un instant le mercure avec une lame de zinc, et aussitôt le cuivre apparaît sur le platine.

Dans une autre expérience, préparée de la même manière, j'ai ajouté à la solution de sulfate de potasse un peu d'acide chlorhydrique et quelques cristaux de sel ammoniac. Le cuivre est réduit sur la lame de platine. Enfin, je prépare l'expérience en employant pour liquide, au contact du mercure, la solution de sulfate de potasse légèrement acidulée avec l'acide sulfurique. Je jette dans cette solution de l'iode et quelques cristaux d'iodure de potassium. Je chauffe l'appareil, et je vois l'iodure de mercure se former. J'ai encore varié cette expérience, en ajoutant simplement une solution d'iode dans l'alcool, au liquide de la capsule intérieure, et en chauffant l'appareil. Pour s'assurer de la formation de l'iodure de mercure, il n'y a qu'à prendre un peu de liquide de la capsule intérieure, et y plonger les extrémités d'un couple zinc et or: on voit aussitôt apparaître le mercure sur l'or. Dans toutes ces expériences, l'iodure de mercure s'est formé sans qu'on ait vu apparaître le cuivre sur le platine. J'ai réussi, dans une expérience, à peser assez exactement la quantité de mercure qui s'était combinée à l'iode: j'ai trouvé un poids de 2 grammes de mercure dissous, sans réduction de cuivre sur le platine du couple élémentaire. Il faut conclure nécessairement, par les expériences que j'ai rapportées, que l'action chimique qui a lieu dans la combinaison des métaux avec les corps simples métalloïdes, opérée dans le sein d'un milieu liquide conducteur, ne produit pas un développement d'électricité suffisant pour être sensible au galvanomètre, ou pour produire la décomposition électro-chimique du sulfate de cuivre dissous dans l'eau.

C'est donc dans l'action chimique qui a lieu entre un métal et un des éléments d'une combinaison qui se trouve à l'état liquide, et qui est décomposée par cette action, que l'on a les conditions les plus favorables pour la production du courant

électrique. Nous admettons généralement que le passage du courant électrique se fait par une série de décompositions et de recompositions des deux éléments dont est formée la combinaison traversée par le courant ; dans le cas d'un couple voltaïque plongé dans l'eau acidulée, les éléments de l'eau sont séparés par le courant électrique et marchent en sens contraire, et cette séparation est la conséquence de l'affinité chimique du métal positif du couple avec l'élément négatif de l'eau. Tous les physiciens savent, et Mr. de la Rive vient de le rappeler, que tandis qu'un couple voltaïque, plongé dans l'eau acidulée, donne immédiatement l'hydrogène sur l'élément négatif, ce phénomène cesse si les deux métaux du couple sont plongés dans l'eau acidulée, chacun séparément dans une capsule, et mis en communication par une lame de platine. Si, au lieu de la lame on établit cette communication par un arc du même liquide, à l'instant le courant passe, et l'hydrogène développé apparaît sur l'élément négatif. Ce fait ne peut certainement s'expliquer avec les idées que nous avions de la conductibilité avant les travaux de Faraday. Il y a dans ce fait une masse liquide qui doit être traversée par le courant, et dans laquelle, par conséquent, les éléments de l'eau doivent être séparés, et sans qu'aucune action chimique aide cette séparation.

En partant de ces idées, je me suis demandé si l'on n'obtiendrait pas par un couple voltaïque le développement du courant électrique, en agissant avec le métal négatif du couple sur l'élément positif de la combinaison liquide, au lieu d'opérer, comme on fait ordinairement, avec l'action chimique du métal positif sur l'élément négatif de la combinaison liquide.

MM. Becquerel et de la Rive avaient déjà observé qu'en plongeant dans de l'eau acidulée les deux éléments d'un couple platine et peroxide de manganèse, on avait un courant qui allait, dans le liquide, du platine au peroxide. J'ai commencé par varier ces expériences en employant des liquides différents, et le chlorure d'argent au lieu du peroxide de manganèse. De

même, j'ai remplacé le chlorure par l'oxide pur de plomb. Dans toutes ces expériences, j'ai toujours trouvé au galvanomètre un courant dirigé du platine à l'autre corps dans le liquide. C'est surtout avec une solution d'acide chlorhydrique que le courant est plus fort.

En raisonnant, dans la théorie chimique de la pile, nous trouvons l'origine des courants ainsi développés dans l'action de l'hydrogène, de l'eau, ou de l'acide chlorhydrique sur l'oxigène ou le chlore, de l'oxide de plomb ou du chlorure d'argent. Ce qui est bien curieux à observer, en admettant ces idées, c'est que l'eau ou l'acide chlorhydrique sont décomposés pour reproduire ces mêmes corps; et certainement il faut admettre, pour s'expliquer la continuité de ces actions, que le courant électrique y intervient. J'ai tenté si l'on pouvait, de cette manière, produire un courant assez fort pour obtenir séparément les produits de la combinaison liquide dont le seul élément électro-positif tend à se séparer, par l'affinité de l'élément négatif du couple. Cette expérience m'a parfaitement réussi, et en voici la disposition. Je soude un fil d'or à une lame de platine, et je crois inutile de rappeler qu'en plongeant les deux extrémités de ce couple dans l'acide chlorhydrique très-pur, il n'y a pas de courant électrique développé. Je couvre la lame de platine d'une couche de peroxide de plomb broyé dans quelques gouttes d'eau distillée. Je couvre la lame, ainsi préparée, avec une membrane animale, et je remplis cette espèce de poche du même peroxide de plomb. Je plonge alors le couple ainsi disposé, dans de l'acide chlorhydrique pur. A l'instant l'or est attaqué par le chlore, et l'on voit le chlorure d'or se dissoudre dans le liquide. Dans ce cas, l'action chimique qui engendre le courant est au pôle négatif; elle est due à l'affinité de l'oxigène du peroxide de plomb, pour l'hydrogène de l'acide chlorhydrique; le chlore est mis en liberté et marche, par l'action du courant, vers le pôle positif où il se trouve en présence de l'or avec lequel il se combine.

Le principe de la théorie chimique de la pile, tel qu'il a été posé par le savant physicien de Genève, ne peut pas embrasser les faits dont nous avons parlé. Le courant positif n'est pas dirigé dans le liquide, en partant du métal du couple, lequel est attaqué. Il me semble donc qu'il faut généraliser le principe de l'origine chimique du courant électrique, de manière à n'en pas exclure le cas du courant développé dans la réduction des oxides, chlorures, etc., qui forment un des éléments du couple. Le fait de la décomposition électro-chimique dans lequel nous avons destruction d'une combinaison, et transport, et dégagement des deux éléments de la combinaison aux pôles opposés de la pile, nous a toujours conduit à admettre, dans ces deux éléments, un état électrique opposé. De même que nous sommes bien loin, selon moi, d'avoir démontré que l'affinité chimique est le produit de la neutralisation des états électriques contraires, rien ne s'oppose à admettre l'existence de deux états électriques contraires dans les deux éléments de la combinaison détruite par le courant. Disons donc que le courant électrique est développé lorsque, par l'affinité chimique, un des deux éléments d'une combinaison, ou tous les deux à la fois, sont séparés et se combinent avec les métaux ou conducteurs solides du couple. Le dégagement de l'électricité sera plus fort, en général, lorsque les deux éléments du couple se combinent séparément avec les deux éléments de la combinaison liquide. C'est ce qui arrive dans la pile avec le peroxide de plomb de Mr. de la Rive, et dans celle de MM. Grove, Bunsen et Daniell. La direction du courant est, dans tous les cas, déterminée par le sens dans lequel marchent les éléments de la combinaison liquide, et, en parlant le langage adopté, d'un seul fluide, on peut dire que la direction du courant est toujours celle de l'hydrogène ou de l'élément positif de la combinaison liquide.—Comment, d'après les idées exposées, peut-on s'expliquer la production du courant dans la combinaison des alcalis avec les acides? Il n'est plus possible de nier ce dévelop-

pement, et ce qu'il importerait de savoir, c'est le rapport entre la quantité de l'électricité qui est développée par l'équivalent, et la quantité de celle qui se forme, en un mot, si un équivalent de sel formé développe une quantité d'électricité capable de décomposer la même quantité de ce sel, ou une quantité équivalente de tout autre sel ou combinaison quelconque.

Je me rappelle d'avoir vu annoncé un travail sur ce sujet, par Mr. Jacobi. Le savant physicien de Saint-Pétersbourg aurait prouvé, par l'expérience, que la quantité d'électricité qui se développe dans la combinaison des acides et des alcalis ne serait qu'une fraction très-petite de celle qui serait donnée par la théorie. Nous savons, par les beaux travaux de Mr. Graham, que l'eau est combinée avec les acides dans des proportions déterminées, et que cette eau se sépare dans la formation d'un sel. Ce serait peut-être à cette eau, acide d'une part, alcaline de l'autre, qui est rendue libre dans la combinaison des acides et des alcalis, qu'on pourrait recourir pour s'expliquer le dégagement de l'électricité.

DEUXIÈME MÉMOIRE SUR LA COLORATION DES MÉTAUX, par Mr. Becquerel. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* du 5 février 1844 [1].)

Depuis les deux communications que j'ai eu l'honneur de faire à l'Académie touchant la coloration des métaux au moyen des dépôts successifs de peroxide de plomb, opérée à l'aide de l'électricité voltaïque, je me suis attaché à multiplier les expé-

[1] Voyez le premier mémoire de Mr. Becquerel *Sur l'application électro-chimique des oxides et des métaux sur des métaux,* Archives de l'Electricité, t. III (année 1843), p. 345.

riences dans le but de remonter aux causes des effets produits, et de trouver les procédés les plus simples et en même temps les plus pratiques, à l'aide desquels on pût obtenir des teintes uniformes et durables sur des objets de forme diverse d'un métal quelconque, afin que l'industrie fût à même de se livrer sans difficulté à ce nouvel art. Les résultats auxquels je suis parvenu, et qui sont consignés dans le mémoire que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie, atteignent, du moins j'ose l'espérer, le but que je me suis proposé; car je n'ai omis aucun des détails pratiques propres à éclairer l'industrie, et à la mettre à même d'assurer le succès de ses opérations.

Le phénomène de coloration électro-chimique, produit sur des surfaces métalliques, est le même que celui des lames minces recouvrant les surfaces de certains corps, et laissant voir par transparence ces mêmes surfaces avec des couleurs dont l'espèce et l'éclat dépendent de l'épaisseur des lames déposées, de la couleur du corps, et qui présentent souvent à nos yeux le brillant phénomène des anneaux colorés.

Nobili est le premier qui nous ait fait connaître la production des anneaux colorés, sur des lames de métal, au moyen de dépôts produits par l'électricité voltaïque, phénomènes analogues à ceux anciennement obtenus par Priestley, avec des décharges successives de batteries électriques : le physicien anglais avait observé qu'en transmettant à plusieurs reprises ces décharges d'une pointe métallique, sur une lame de métal, il en résultait sur cette dernière plusieurs séries d'anneaux colorés, qui étaient les mêmes quelle que fût la direction de la décharge, c'est-à-dire que l'électricité positive partît de la pointe ou de la lame. On dut en conclure que la coloration dépendait d'une cause agissant également des deux côtés. Les expériences ayant d'abord été faites sur le cuivre et l'acier, métaux qui se colorent en se refroidissant, après avoir été exposés à l'action d'une chaleur aussi forte que celle qui se dégage pendant la décharge,

on dut croire que telle était la cause de la production des anneaux colorés. Mais, comme on les obtint également ensuite sur le platine et l'or, on fut obligé d'admettre le transport de la matière même de la pointe, qui, en se déposant sur la lame en couches d'autant plus minces qu'elles s'éloignaient davantage du point central, donnait naissance à des anneaux colorés ; conjecture qui s'est changée en certitude depuis les expériences de Mr. Fusinieri sur le transport de la matière à travers les substances métalliques, par l'effet des décharges, quelle que fût la direction de ces dernières.

Pour avoir une idée bien nette des phénomènes décrits d'abord par Priestley, puis étudiés avec de grands développements par Nobili, en se servant de l'électricité voltaïque, et afin de pouvoir les comparer à ceux dont il va être question dans ce Mémoire, je rapporterai les principaux résultats obtenus par ces deux physiciens.

Lorsqu'une plaque métallique est soumise à l'action de plusieurs décharges d'une batterie électrique, au moyen d'une pointe également de métal, la couleur de la plaque change à une distance considérable autour de la tache centrale, et l'espace entier est recouvert d'un certain nombre d'anneaux concentriques, dont chacun présente les belles couleurs du spectre. Plus la pointe est rapprochée de la lame, plus tôt on voit naître les couleurs, et plus aussi les anneaux sont serrés ; si la distance est excessivement petite, les couleurs apparaissent à la première décharge, mais alors elles sont confuses.

Le nombre des anneaux augmente en raison du degré de finesse de la pointe ; plus celle-ci est émoussée, plus les anneaux sont larges, mais aussi moins ils sont nombreux. Sur une lame d'acier, pour une distance donnée, les couleurs ne se manifestent pas immédiatement autour de la tache centrale : on observe d'abord une zone rouge obscur, puis, après quatre ou cinq décharges, en regardant obliquement la surface, on aperçoit un espace circulaire légèrement ombré, ou empreint d'une

couleur rouge extrêmement faible, se remplissant par degrés d'anneaux de toutes les couleurs, et dont les bords deviennent brunâtres si l'on continue les décharges au delà du premier espace annulaire qui se dessine d'abord comme une ombre légère, et qui est la première nuance des couleurs plus pâles se développant autour du rouge brun dont se compose la surface intérieure. Les teintes les plus prononcées se montrent d'abord autour de la tache centrale, et reculent à mesure que l'on multiplie les explosions, pour faire place à de nouvelles couleurs après 30 ou 40 décharges On a trois anneaux bien distincts; en continuant, les cercles colorés deviennent moins beaux et moins nets, par la raison que le rouge domine et ternit plus ou moins les autres couleurs.

Les anneaux déposés adhèrent suffisamment pour qu'une plume, le doigt même mouillé ne les altèrent en rien; néanmoins, on peut les enlever avec l'ongle. Les anneaux intérieurs sont les plus résistants : néanmoins, comme on le voit, *ils ne peuvent résister à un frottement un peu fort.*

Quand les décharges sont trop énergiques et qu'on opère sur l'acier, la surface se corrode, et il en résulte des érosions qui nuisent à la netteté des effets produits. Ces érosions n'ont pas lieu sur l'argent, l'étain et le bronze poli. Les anneaux colorés, ainsi que les effets précédemment décrits qui les accompagnent, se montrent sur l'or, l'argent, le cuivre, le bronze, le fer, le plomb et l'étain, et toujours quel que soit le sens de la décharge.

Pour obtenir les anneaux colorés au moyen de l'électricité voltaïque, il faut, comme Nobili l'a fait le premier, concentrer le courant venant d'un des pôles de la pile dans un fil de platine dont la pointe seulement plonge dans le liquide à décomposer, tandis que l'autre pôle est en relation avec une lame de métal se trouvant dans le même liquide. Cette lame est placée perpendiculairement à la direction du fil et à environ 1 millimètre de la pointe. Les effets produits dépendent de la nature de la

lame métallique, de son état positif ou négatif, et de la nature de la dissolution. On les obtient facilement, en peu de secondes, avec une pile de forme ordinaire.

Nobili ayant soumis à l'expérience un grand nombre de dissolutions avec un fil de platine et des lames de platine, d'or, d'argent, d'étain, de bismuth, de cuivre, de laiton, etc., a obtenu des résultats très-variés dont je vais rapporter les principaux.

Dissolution de sulfate de cuivre.

Lame d'argent positive. — Quatre ou cinq cercles concentriques alternativement clairs et obscurs.

Lame d'argent négative. — Trois petits cercles concentriques : le plus grand et le plus petit d'un rouge foncé, le cercle intermédiaire d'une teinte plus claire.

Lame de laiton positive. — Traces légères de cinq cercles concentriques de la couleur du laiton, les uns plus clairs, les autres moins, et alternant ainsi entre eux.

Lame de laiton négative. — Cercles de deux nuances de cuivre métallique alternant comme sur l'argent.

Dissolution de sulfate de zinc.

Lame d'argent positive. — Tache obscure au centre, cercle jaune clair, puis un cercle d'un bleu léger, et enfin une belle zone tirant sur le jaune.

Lame de laiton positive. — Cinq petits cercles provenant de cuivre mis à découvert par l'action du courant et présentant deux teintes alternatives, l'une claire, l'autre sombre.

Dissolution de sulfate de manganèse.

Lame d'argent positive. — Cinq cercles concentriques alternativement clairs et foncés, le cinquième plus distinct que les autres, et entouré d'une auréole d'un jaune pâle qui se fond en une teinte violacée. Ces cercles ont de l'analogie avec ceux obtenus avec le sulfate de cuivre.

Dissolution d'acétate de plomb.

Lames d'or et de platine positives. — Iris concentrique, composé d'anneaux naissant les uns des autres, et se propageant à la manière des ondes.

Lame d'argent positive. — Iris moins distinct que sur l'or et le platine.

Dissolution d'acétate de cuivre.

Lames de platine, d'or, d'argent positives. — Rien de remarquable.

Mêmes lames négatives. — Avec l'argent, par exemple, souvent quatre cercles concentriques, qui, exposés à l'air, prennent les teintes suivantes : bleu foncé au centre, puis rouge jaunâtre, bleu moins foncé, et rouge jaunâtre, et présentant une autre nuance que la seconde teinte.

Dissolution d'acétate de potasse.

Lame d'argent positive. — Un cercle au milieu de trois autres, de 1 centimètre de diamètre, environné d'un filet d'argent très-brillant auquel succède une auréole de couleurs diverses, mais faible.

Des résultats analogues ont été obtenus par Nobili avec beaucoup d'autres dissolutions, et notamment avec des liquides extraits de corps organiques, tels que les sucs de carotte, d'oignon, de persil, d'ail, de pomme de raifort, de chou pommé, de feuilles de céleri, de betterave. Les effets obtenus avec ces liquides sont tellement curieux, que je crois devoir en citer quelques-uns.

Suc de carotte.

Lame d'argent positive. — Centre obscur entouré de deux cercles, l'un jaunâtre, l'autre verdâtre, puis diverses zones fortement colorées.

Suc de raifort.

Argent positif. — Au centre un point obscur, autour un petit cercle blanc ; une zone verdâtre, terminée par un cercle bleu ; ensuite un ou deux cercles d'un beau jaune d'or, et enfin quelques iris assez faibles.

Suc de betterave.

Argent positif. — Au centre, un point rouge, environné de quatre cercles, le premier jaune, le deuxième bleu, le troisième rouge, et le quatrième vert ; plus loin deux ou trois beaux iris.

Nobili a tiré de ses expériences les conséquences suivantes :

1° *Il existe une différence entre le mode d'action des deux pôles, relativement à la faculté qu'ils possèdent de se couvrir de matières*, le pôle positif l'emportant néanmoins de beaucoup sur le pôle négatif, surtout à l'égard des matières organiques ;

2° En général l'effet du pôle négatif est augmenté en opérant avec un courant plus intense, ou bien en ajoutant aux sels métalliques un sel à base alcaline.

Le même physicien avait pensé qu'il pourrait bien se faire que les effets de coloration qu'il avait obtenus fussent dus à des dépôts de lames minces ; mais il ne s'était pas rendu compte de la nature de ces dépôts. Par exemple, en rapportant ce qui se passe avec un mélange des deux acétates de cuivre et de plomb, il ajoute (*Annales de Chimie et de Physique*, deuxième série, t. XXXIV, p. 287) :

« Mais si les iris proviennent, comme cela pourrait être, de quelqu'une des substances électro-négatives de la solution qui se déposent en lames minces à la surface de ces deux métaux, pourquoi n'en arriverait-il pas autant avec les autres métaux ? C'est là peut-être une question qui n'est pas indigne d'exercer la sagacité des chimistes. »

Tels sont les résultats généraux obtenus, d'une part, par Priestley, et de l'autre, par Nobili, dans leurs expériences sur

la production des anneaux colorés au moyen de l'électricité, et que j'ai cru devoir rapporter, afin de faire connaître l'état de la question concernant la coloration, quand je l'ai reprise sous un point de vue différent de celui de ces deux physiciens. Je reviendrai sur ces résultats après avoir exposé ceux qui font le sujet de ce mémoire.

Pour colorer les métaux suivant la méthode indiquée dans mon premier mémoire, et décrite avec plus de détail dans les *Elémens d'électro-chimie* que j'ai publiés récemment, je me sers d'une dissolution plombique alcaline dans laquelle l'oxide joue le rôle d'élément électro-négatif. Je rappellerai en peu de mots le mode d'expérimentation : la dissolution est mise dans un bocal de verre, où se trouve un cylindre de porcelaine dégourdie rempli d'acide nitrique; dans la dissolution plonge l'objet à colorer, et dans l'acide une lame de platine; l'objet est mis en communication avec le pôle positif d'un appareil décomposant formé de quelques élémens, et la lame de platine avec le pôle négatif; on peut, et cela est plus facile, supprimer le vase poreux et l'acide nitrique, et plonger la lame de platine dans la dissolution alcaline. Aussitôt que la communication est établie, la surface de l'objet se recouvre de couches minces successives de peroxide de plomb qui produisent des effets de coloration. L'adhérence de ces couches est aussi grande que celle de l'or sur le cuivre dans la dorure, par la raison que le protoxide de plomb qui passe à l'état de peroxide par la réaction de l'oxigène de l'eau et l'or se rendent au pôle qui convient au rôle que chacun de ces corps joue dans la dissolution. Le dépôt de peroxide peut donc s'effectuer aussi régulièrement sur la surface positive que l'or sur la surface négative, quand on remplit toutes les conditions qui seront indiquées ci-après. Je commencerai par la dissolution de plombate de potasse.

De la composition de la liqueur.

La solution alcaline doit être complétement saturée d'oxide de plomb, sans quoi les couches déposées de peroxide ne tarderaient pas à se dissoudre dans l'alcali, aussitôt que le courant cesserait de circuler, ou seulement quand il y aurait un ralentissement dans son action chimique. Il est donc nécessaire, quand elle a servi, de la faire bouillir de temps à autre avec un excès de litharge dans un ballon, hors du contact de l'air autant que possible, pour empêcher que la potasse n'absorbe de l'acide carbonique. Quand elle a servi pendant longtemps, et qu'elle renferme, par conséquent, du carbonate de potasse, il faut la faire bouillir avec de la chaux caustique, laisser déposer le carbonate de chaux formé, et filtrer s'il est nécessaire, ou bien décanter la partie claire de la dissolution, que l'on verse dans un vase de forme convenable. Cette dissolution doit marquer de 24 à 25 degrés de l'aréomètre de Baumé, car l'expérience a prouvé que cette densité était la plus convenable pour obtenir les meilleurs effets. Quand elle ne sert plus, on la remet dans un ballon que l'on bouche avec soin.

La température de la liqueur doit être celle ambiante, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas dépasser 12 à 15 degrés.

Le succès de l'opération dépend de la bonne composition de la liqueur, de sa densité, de sa température, et, en outre, comme nous le dirons ci-après, de l'intensité du courant et du parfait nettoyage des pièces. Cette opération est aussi essentielle pour la coloration des métaux que pour la dorure électro-chimique ou par immersion. La présence des corps gras et autres substances non conductrices sur les surfaces métalliques exige ce parfait nettoyage.

De la préparation des surfaces.

J'ai déjà dit que les couches de peroxide de plomb déposées, étant transparentes, laissent voir la surface des objets. Par con-

séquent, telle est la surface de ces objets, tel est leur aspect ou plutôt tel est l'éclat des couleurs. Par conséquent, il faudra leur donner préalablement l'état qui convient, c'est-à-dire le brillant ou le mat, si l'on veut avoir des couleurs brillantes ou ternes. Supposons qu'il s'agisse de lames polies d'or, de cuivre doré ou de platine : on commence par les frotter avec une brosse douce et de l'eau légèrement alcalisée, puis on lave à grande eau. Dans le cas où l'adhérence des matières étrangères est trop forte pour qu'elles soient enlevées par ce moyen, on frotte les lames avec une brosse recouverte de rouge d'Angleterre, puis avec une brosse et de l'eau alcalisée, et on lave à grande eau. On voit alors que des pièces, qui étaient inactives d'abord, se recouvrent facilement des plus riches couleurs. Ces diverses préparations sont surtout nécessaires quand, ayant enlevé les couleurs, on remet de nouveau en expérience les pièces; car il reste souvent des dépôts qui nuisent à l'éclat des couleurs ou s'opposent même à tout dépôt ultérieur. Les pièces étant préparées, il faut éviter d'y toucher avec les doigts, car leur marque est indiquée par une absence de dépôt ou simplement un dépôt de mauvais effet ; il faut donc prendre les plus grandes précautions pour attacher les fils conducteurs; aussi est-on obligé de tenir les objets avec un linge n'ayant touché à aucune matière organique capable d'adhérer aux surfaces. D'une bonne préparation, je le répète, dépend le succès de l'opération.

Il faut agir autrement à l'égard du cuivre, du fer et des métaux oxidables, qui, en raison de leur oxidation, ne sont pas toujours aptes à recevoir des couleurs aussi belles et aussi variées que l'or, le cuivre doré et le platine.

Pour les objets en cuivre, on doit d'abord leur faire subir un premier dérochage, en chauffant les pièces jusqu'au rouge et les plongeant immédiatement dans de l'acide sulfurique étendu marquant 12 degrés à l'aréomètre, et dont la température est de 60 à 80 degrés. On procède ensuite au décapage en les

plongeant d'abord dans de l'acide nitrique, puis dans un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique, dans la proportion de trois parties du premier et une du second avec addition d'une petite quantité de sel marin. On évite la suie qui pourrait déposer des matières grasses. On lave à grande eau et on plonge immédiatement dans le bain alcalin, sans sécher à la sciure, opération qui ne serait pas sans inconvénient, en raison des corps étrangers qui se déposeraient sur les surfaces.

Les pièces décapées peuvent rester à la vérité quelques instants hors de l'eau, hors de l'influence de l'air, mais néanmoins il ne faut pas trop attendre, crainte d'altération.

Quand le cuivre a été bien décapé avec ce qu'on appelle le brillant, on obtient des effets de coloration très-satisfaisants, mais qui n'approchent pas cependant de ceux que donnent le bruni et le poli, avec le bruni surtout, qui donne une vigueur de ton que l'on n'obtient pas avec le décapage; mais, dans ce cas, l'opération même du poli ou du bruni apporte, sur les surfaces, des corps étrangers dont il faut les débarrasser en lavant comme ci-dessus, non avec une brosse et une solution aqueuse de potasse, mais bien avec un linge très-fin trempé dans de l'alcool tenant en dissolution une petite quantité de potasse, puis laver à grande eau.

Toutes les fois que les pièces de cuivre ou de laiton, principalement ces dernières, n'ont que de petites dimensions, 2 ou 3 centimètres carrés de superficie environ, la coloration suit les mêmes phases que sur les surfaces dorées de petite ou de grande étendue; mais lorsque les dimensions sont considérables, la surface reste brillante pendant plus ou moins de temps, et semble se trouver dans un état passif semblable à celui du fer qui a été plongé dans l'acide nitrique concentré; dans ce cas, il n'y a aucun effet de coloration. D'où peut donc provenir cet état passif du laiton mis en rapport avec le pôle positif d'un appareil voltaïque? Est-il dû ou à la formation d'un oxide de cuivre qui s'oppose, par conséquent, à celle du per-

oxide anhydre, ou bien parce que le plombate de potasse est simplement décomposé? Ce sont des questions que nous avons dû indiquer en parlant de l'état des surfaces, mais qui ne pourront être approfondies que lorsque je parlerai de la coloration. On reconnaît immédiatement à un signe certain que celle-ci ne s'effectuera pas, c'est lorsqu'il se dépose beaucoup de plomb sur l'électrode négatif, et cela s'explique facilement : le protoxide de plomb, n'étant pas peroxidé, doit être réduit; aussi, peu d'instants après l'immersion, on voit si la coloration aura lieu ou non.

Quant à la préparation du fer ou de l'acier, lorsque la plaque a été polie, on frotte la surface avec de l'eau alcalisée, et on lave à grande eau.

Du procédé de coloration.

Lorsque l'on soumet à l'action d'un appareil composé de quelques couples, une dissolution saturée de protoxide de plomb dans la potasse, au degré de densité indiqué, en prenant pour électrode négatif un fil ou une lame de platine, et pour électrode positif une lame d'or ou de platine, il se dépose immédiatement sur celle-ci une couche de peroxide anhydre de plomb, qui augmente peu à peu d'épaisseur, en produisant successivement tous les effets de couleur que présentent les anneaux colorés ou les lames minces. Aussitôt que la coloration est terminée, il faut retirer la lame colorée de la dissolution plombique, et la laver à grande eau, afin d'enlever toute la potasse qui réagirait assez promptement sur le peroxide pour le changer en protoxide qu'elle dissoudrait. La coloration commence d'ordinaire sur les bords des lames, dans les parties les plus éloignées des points d'attache, dans les parties, par conséquent, où l'action chimique du courant est le plus forte. C'est pour ce motif que, sans précautions préalables, il est impossible d'avoir des couleurs uniformes. Les couches de peroxide de plomb adhèrent tellement, qu'elles supportent le

bruni à la peau et au rouge d'Angleterre, et non le bruni à la sanguine ou au brunissoir d'acier ou de corne, par la raison que cette opération ne peut s'appliquer qu'aux substances malléables dont les parties s'étendent sous le brunissoir, propriété que ne possède pas le peroxide de plomb, qui dès lors doit se détacher de la surface sur laquelle il est déposé quand l'action du brunissoir est suffisamment forte. En outre, l'adhérence du peroxide est d'autant plus forte que les métaux, du moins leurs oxides, sont plus aptes à former des combinaisons avec ce composé; cette adhérence est tellement forte quelquefois, que le dépôt résiste assez longtemps à l'action des acides étendus.

Le peroxide de plomb n'étant pas conducteur de l'électricité, il en résulte que l'épaisseur de la couche qui colore est très-limitée. Avant de faire connaître les différents procédés que nous avons adoptés pour obtenir tous les effets de couleur désirables, je dois indiquer l'ordre que suit la coloration, afin de pouvoir analyser facilement tous ces effets.

Des différents ordres de coloration.

La coloration obtenue sur les surfaces métalliques par le dépôt de couches successives de peroxide de plomb est due, comme je l'ai dit, au phénomène des lames minces qui laissent voir par transparence, quand il n'y a pas oxidation, la surface métallique sur laquelle elles sont déposées. Si cette surface est colorée, les couleurs dépendant de l'épaisseur des lames se mêlent avec celle qui lui est propre; d'où résultent des effets qui, bien qu'altérant les couleurs des anneaux colorés, ne changent en rien la succession des ordres différents, lesquels ne sont plus alors composés de couleurs simples. Avec l'or, par exemple, il est impossible d'obtenir le bleu, puisque sa couleur jaune se mêlant au bleu donne un vert bleuâtre, très-beau à la vérité, mais qui n'est pas le bleu des anneaux colorés. Avec le platine on arrive au bleu, au bleu outremer, au plus beau bleu que l'on puisse obtenir. Je vais indiquer ac-

tuellement comment se succèdent, sur une lame d'or, les couleurs dues au dépôt de couches successives de peroxide de plomb.

Premier ordre.

Premier ordre des couleurs des anneaux colorés de Newton :

Noir, bleu très-pâle, blanc vif, jaune-orangé, rouge.

Premier ordre des couleurs des couches de peroxide de plomb :

Léger dépôt dont la couleur ne peut être caractérisée, tant elle est fugitive ; orangé, orangé foncé, gris-perle, tirant sur le verdâtre, le jaune d'or, rouge faible, beau rouge prismatique.

Deuxième ordre.

Deuxième ordre des couleurs des anneaux colorés de Newton :

Pourpre sombre, pourpre, vert-pré vif, jaune vif, rose-cramoisi.

Deuxième ordre des couleurs des couches de peroxide de plomb :

Rouge tirant sur le violet, vert-bleuâtre, beau vert, jaune, rouge.

Troisième ordre.

Troisième ordre de Newton :

Pourpre-bleu, vert-pré vif, jaune brillant, rose-cramoisi.

Troisième ordre des lames de peroxide de plomb :

Violet vineux, vert foncé, vert tirant au rouge. Les couleurs au delà prennent de plus en plus un aspect foncé, et enfin on arrive au noir de jaïet.

En comparant les couleurs des anneaux colorés de Newton et celles des couches de peroxide de plomb appartenant à un même ordre, on voit des rapports bien manifestes, puisque, à quelques exceptions près, il n'y a de différence que dans les teintes ; l'ordre des couleurs se succède en effet assez bien.

Sur le cuivre, on observe les mêmes ordres de couleurs, si

ce n'est qu'elles ne sont plus mélangées de jaune, mais bien d'une teinte rougeâtre qui leur donne de l'intensité.

Sur l'argent parfaitement poli, on commence par apercevoir une couleur jaune-verdâtre, due en partie à l'oxidation de l'argent, puis le jaune, le rouge, le bleu et le vert; ensuite d'autres couleurs qui deviennent de plus en plus foncées.

Sur le platine, toutes les couleurs précédentes prennent de plus en plus une teinte bleue; aussi celles qui sont bleues ou vert-bleuâtre donnent-elles le plus beau bleu, le bleu éclatant de l'outremer.

Sur le fer, et surtout sur l'acier, les différents ordres de couleurs se montrent avec assez d'intensité, mais en général elles sont assombries par la couleur grise du métal; j'ai soumis à l'expérience les métaux exempts de couleur et ceux qui offrent des couleurs foncées. J'examinerai dans un autre mémoire les effets obtenus sur le nickel, le cobalt, etc.

Des diverses dispositions à prendre pour donner des teintes uniformes ou variées aux surfaces.

Pour obtenir des teintes uniformes, il faut disposer l'objet pour que l'action du courant soit la même sur tous les points de la surface, sans quoi il y aurait des parties plus recouvertes de couches de peroxide que d'autres; de là des couleurs prismatiques ou des teintes plus ou moins variées sur la même surface, ce qui produirait une irisation qui nuirait souvent à l'effet pittoresque. Pour avoir une seule couleur, il faut remplir plusieurs conditions qui dépendent des propriétés chimiques des courants, et de l'habileté de l'opérateur.

1° Les dépôts de peroxide doivent être successifs et extrêmement minces, afin de ne pas passer brusquement d'une couleur à une autre, c'est-à-dire qu'il faut s'arranger pour avoir successivement toutes les teintes d'une même couleur. On y parvient en prenant pour électrodes négatifs des fils de platine depuis 1 millimètre jusqu'à 1/10 de millimètre. Chaque fil est

introduit dans l'intérieur d'un tube de verre, dont l'une des extrémités est fondue à la lampe et le fil coupé ras à cette extrémité, afin d'avoir en dehors du tube une pointe métallique plus ou moins fixe par laquelle le courant débouche; de cette manière on peut faire circuler dans le liquide un courant produit par une très-petite quantité d'électricité. A l'autre extrémité le fil est fixé avec du mastic, et on lui donne une certaine longueur, afin de le mettre en relation avec le pôle négatif de l'appareil décomposant. On prépare ainsi un certain nombre de tubes, tous en communication avec ce pôle, afin de prendre celui qui convient à l'étendue de la surface soumise à l'expérience. L'électrode négatif étant ainsi réduit aux plus petites dimensions possibles, puisqu'il ne peut avoir que la section d'un fil métallique presque microscopique, le dépôt des couches est graduel. Bien entendu qu'il faut enlever, de temps à autre, le dépôt de plomb qui, du reste, est peu considérable quand l'action est lente.

Au lieu d'un tube, que j'appellerai tube électrode, souvent on en réunit plusieurs semblables, en les accolant les uns aux autres, de manière que toutes les pointes soient dans le même plan, ou bien on introduit dans le même tube un certain nombre de fils de platine, en fermant à la lampe l'extrémité par laquelle ils doivent plonger dans la dissolution. On les coupe à une certaine distance du tube, et on les écarte de manière à avoir un véritable pinceau.

2° Les objets communiquent avec le pôle positif de l'appareil décomposant; quand ils n'ont qu'une étendue de 2 à 3 centimètres, on se borne à les attacher avec un fil de fer ou un fil de cuivre en relation avec ce pôle, ou bien on tient l'objet avec une pince de fer en relation avec l'appareil, en ayant l'attention de limer fréquemment l'intérieur des branches, afin d'enlever le peroxide déposé qui, n'étant pas conducteur, empêcherait le courant de circuler. Si l'objet a une certaine étendue, il faut multiplier les fils de communication, afin que le

courant débouche par un plus grand nombre de points. On peut saisir aussi l'objet avec une griffe en métal, en la changeant de place, sans quoi les points d'attache ne se coloreraient point. Enfin, plus le nombre des points de contact sera multiplié, plus le dépôt approchera de l'uniformité. S'il s'agit d'une surface carrée de peu d'étendue, on attachera à chaque angle un fil. Si l'étendue est considérable, on fera poser la lame sur deux fils croisés à angle droit, passant par les milieux des côtés. Avec un triangle, les trois angles sont mis en relation avec le pôle positif; avec un cercle, le point d'attache doit être au centre. Enfin la loi de symétrie, relativement à la position des points de jonction, doit être satisfaite, car c'est le seul moyen de rendre uniforme l'action décomposante du courant.

3° S'il s'agit d'un anneau cylindrique, on placera la pince dans son intérieur, et l'on ouvrira les branches en les tenant écartées avec un coin de bois, ou bien on introduira dans l'intérieur un mandrin conique qui permettra, en l'enfonçant plus ou moins, d'appliquer la pièce sur le mandrin mis en relation avec le pôle positif. Si le cylindre est court, on le pose sur un plateau ou un treillage en cuivre communiquant toujours avec le pôle positif, et en ayant le soin d'enlever le peroxide déposé par un moyen que nous indiquerons bientôt. Voilà pour ce qui concerne le mode de communication des objets avec le pôle positif. Je vais indiquer comment on doit opérer avec le tube électrode pour arriver à l'uniformité ou à la variété des teintes.

Cet électrode ne doit jamais rester en repos, car le dépôt serait toujours plus abondant dans les points les plus rapprochés de l'objet. Il est donc indispensable de le promener continuellement au-dessus de la surface à recouvrir, en le tenant toujours sensiblement à la même distance, qui doit être d'autant plus grande que les objets ont moins de surface. C'est le seul moyen de rendre égale la distance entre la pointe métallique et tous les points de la surface, puisque les lignes obliques diffèrent de moins en moins de la perpendiculaire. Cette

différence est surtout moins grande à l'égard des creux et des reliefs qui, sans cette précaution, présenteraient des différences dans leur coloration. Quand les corps ont de grandes dimensions, il faut écarter davantage la pointe de la surface, il faut accélérer le mouvement du tube électrode de manière à porter sans cesse la pointe, s'il s'agit d'un objet plan, du centre à la périphérie. Il est des cas où la pointe doit être éloignée de 1 à 2 décimètres de la surface. On pourrait croire qu'en employant des dissolutions de plombate de potasse plus ou moins étendues, on arriverait plus sûrement au but qu'on se propose, c'est-à-dire à une coloration lente et successive. La théorie l'indiquait effectivement, mais l'expérience a prouvé le contraire : les meilleurs résultats sont ceux qu'on obtient avec la dissolution plombique saturée de potasse marquant 24 à 25 degrés de l'aréomètre de Baumé à la température ordinaire. Avec des dissolutions moins saturées, les couleurs n'ont pas d'éclat, et sont si lentes à se former, qu'il faudrait un temps considérable pour arriver à toutes les successions de teinte que l'on veut avoir. Le vase dans lequel on opère doit avoir de grandes dimensions dans tous les sens, afin d'être libre dans la manœuvre, et de pouvoir écarter les tubes électrodes de la surface des objets autant qu'on le juge convenable en vue des objets que l'on veut produire. La forme cylindrique est la plus convenable, parce qu'elle permet d'obtenir une action régulière en promenant le tube électrode appliqué le long de la paroi intérieure; quand les objets ont de grandes dimensions, le diamètre du vase doit être deux ou trois fois celui de ces objets.

Pour fixer les idées sur la manière de manœuvrer le tube électrode, je citerai quelques exemples. S'agit-il de recouvrir uniformément, non plus la surface supérieure d'une lame carrée, mais les deux surfaces ; après avoir établi un conducteur à chacun des quatre angles, on place horizontalement cette lame dans la dissolution, et on promène le tube électrode à une distance convenable des bords, en maintenant constam-

ment la pointe au niveau de la lame et dans le même plan qu'elle, afin que l'action du courant soit la même au-dessus et au-dessous. Si la pièce a de plus grandes dimensions, après y avoir attaché le nombre de conducteurs convenable, le tube électrode simple ne suffit plus, il faut un tube électrode à deux ou plusieurs branches, dont chaque fil vient aboutir à un autre en communication avec le pôle positif de l'appareil décomposant. Je considère d'abord le tube à deux branches, composé de deux tubes électrodes accolés l'un à l'autre, passés dans un bouchon, afin de pouvoir les faire glisser l'un sur l'autre dans le sens de leur longueur. Les deux bouts soudés sont recourbés à angle droit, d'abord à une distance qui doit être égale au moins à la demi-largeur de l'objet, puis à peu de distance de l'extrémité, afin de mettre les deux pointes sur la même ligne en regard. La branche terminale peut avoir seulement 1/2 centimètre de longueur; la lame est placée entre les deux pointes, chaque surface à la même distance de la pointe en regard. On peut manœuvrer cet appareil de manière à présenter successivement chaque pointe également vis-à-vis de tous les points correspondants de chacune des deux surfaces. Comme la longueur de chaque premier coude est égale à un peu plus de la demi-largeur de l'objet, pour atteindre tous les points, il suffit de faire tourner tout le système autour de cet objet. Nous répétons que l'électrode double ou simple doit être continuellement en mouvement, en ayant soin que chaque pointe soit toujours à égale distance de la surface en regard, sans quoi l'action électro-chimique serait plus forte d'un côté que de l'autre; on remplit cette condition au moyen de la disposition suivante. On fixe sur la paroi supérieure du vase deux petits tubes ou deux baguettes de bois dans une direction parallèle, et l'on place l'objet, si c'est une lame carrée, de manière que deux des côtés soient à égale distance de ces bords. On applique le bord inférieur de la grande courbure du tube supérieur sur l'un des tubes; de cette manière les deux pointes sont

à égale distance des deux surfaces. Si l'on veut opérer régulièrement sur une surface circulaire, on fait glisser le tube électrode dans l'intérieur d'une spirale horizontale de cuivre, dont le sommet correspond au centre du cercle, et dont tous les points sont également éloignés de la surface supérieure de l'objet.

Veut-on colorer intérieurement une surface hémisphérique, on remplit la capacité de la dissolution, et l'on met en communication le vase avec le pôle positif, en le posant sur une lame de cuivre en relation avec ce même pôle. On immerge le tube électrode de manière à placer la pointe au centre de la section, et on l'y laisse dans une position fixe. Dans ce cas, l'action décomposante du courant est la même sur tous les points de la surface. Avec un vase cylindrique, le tube électrode doit être placé suivant l'axe, et la pointe portée constamment de haut en bas; s'il s'agissait d'une sphère, il faudrait que la pointe fût placée au centre, immobile. On voit que, dans tous ces arrangements, la loi de symétrie est remplie.

Pour être assuré que l'on passe successivement par toutes les teintes intermédiaires, et pouvoir s'arrêter non-seulement à la couleur, mais encore à la teinte que l'on désire avoir, l'immersion du tube électrode ne doit durer que quelques secondes, surtout à l'approche de cette couleur ou de cette teinte. On retire alors la pièce du bain; on juge de l'état de coloration; mais, quand on cesse, il faut immédiatement laver à grande eau et faire tomber sur la pièce un courant d'eau froide, afin d'enlever les moindres quantités de potasse qui altéreraient assez promptement les couleurs.

J'ai à faire connaître maintenant comment il faut opérer pour donner à une surface ou à une portion de surface des couleurs différentes ou des teintes d'inégale intensité, comme cela doit avoir lieu pour colorer les pétales ou autres parties d'une fleur. Il faut, pour cela, partir de ces deux principes : que les dépôts formés sur les lignes terminales sont les plus forts, ainsi que

les parties les plus rapprochées de la pointe du tube électrode. Rien n'est plus simple, à l'aide de ces deux principes, et en prenant un certain nombre de fils de communication, d'arriver au but qu'on se propose.

Supposons un cercle représentant la projection horizontale d'une rose, et que l'on veuille colorer en vert la partie centrale, on commence par mettre le tube électrode pendant quelques instants au-dessus de cette partie : la surface se couvrira d'un dépôt qui sera plus fort là que partout ailleurs. Cela fait, on portera le tube bien au-dessus de la première position, pour que l'action soit partout uniforme : le vert se produira dans la partie centrale, tandis que les parties latérales rouges auront une teinte d'autant plus uniforme, qu'elles s'éloigneront du centre. Si l'on veut la nuancer, on promènera le tube électrode en décrivant sensiblement une spirale qui aboutira au centre. Avec une certaine habitude, on parvient à *peindre* une fleur avec les tubes électrodes, simple ou composé, avec toutes ses nuances, de sorte que ces tubes peuvent être comparés, jusqu'à un certain point, à des pinceaux. La perfection des effets produits dépénd 1° des connaissances électro-chimiques de l'opérateur, 2° de son adresse, 3° de son talent artistique.

Les objets colorés que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie, quoique ne réunissant pas toutes les qualités que la coloration électro-chimique présentera un jour, donneront cependant une idée du parti que l'on pourra tirer pour l'industrie, de l'art dont j'expose ici les principes généraux.

J'omets une foule de détails que l'opérateur trouvera facilement quand il aura acquis une certaine habitude dans les manipulations.

Quand une pièce est manquée, rien n'est plus simple que d'enlever les couches de peroxide, il faut la plonger pendant quelques instants dans de l'acide acétique étendu pour décomposer le peroxide et dissoudre le protoxide, brosser la surface, puis laver.

De l'appareil décomposant.

Pour obtenir tous les effets qui viennent d'être décrits, il faut employer un appareil décomposant, sensiblement à courant constant pendant toute la durée des opérations. Il doit être d'une manœuvre facile, et je n'ai rien trouvé de mieux que des couples composés d'un cylindre de cuivre de 1 décimètre de diamètre, de 1 décimètre et demi de hauteur, d'un cylindre plein de zinc de 2 ou 3 centimètres de diamètre, qu'on amalgame préalablement, et entouré du précédent; chaque couple est placé dans un bocal cylindrique de verre, et mis en relation avec le suivant au moyen des dispositions connues. La pile est chargée avec de l'eau renfermant environ 1/100 d'acide sulfurique. Six couples suffisent ordinairement pour toutes les opérations. On peut en employer moins; mais les résultats les plus satisfaisants m'ont été donnés avec ce nombre.

Il faut toujours que le fil conducteur, ainsi que les diverses parties de communication, soient très-propres, afin de ne pas avoir des irrégularités dans l'action du courant qui gêneraient l'opérateur.

On s'aperçoit que le courant a une trop forte intensité quand, au lieu de peroxide anhydre, on voit apparaître le peroxide hydraté jaune; il faut alors y remédier, car toute coloration cesse.

De l'altération des couleurs, et des moyens de la prévenir.

Les couleurs produites par le dépôt de couches minces de peroxide de plomb s'altèrent-elles plus ou moins promptement à l'air, suivant les métaux sur lesquels elles sont déposées? C'est un point important à examiner pour les applications aux arts: je vais indiquer les causes qui déterminent cette altération, ainsi que celles qui peuvent l'empêcher, ou du moins en atténuer les effets. Les observations que je vais présenter sont relatives à la coloration sur or, parce qu'elle est produite uni-

quement par les couches successives du peroxide de plomb non mêlé ou combiné avec d'autres oxides.

Toutes les causes qui décomposent le peroxide de plomb altèrent nécessairement cette substance ; ainsi, les acides et les alcalis font passer le peroxide à un état d'oxidation moindre, pour se combiner avec le protoxide. On doit donc éviter de laisser les objets colorés exposés aux émanations acides ou ammoniacales qui, en décomposant le peroxide de plomb, altéreraient les couleurs. Le seul moyen d'empêcher le contact des émanations acides ou ammoniacales, est de placer les objets sous verre, ou bien de recouvrir leur surface d'un vernis transparent, résistant, et qui, en s'opposant à l'action des vapeurs, n'altère que le moins possible leur couleur. Le choix du vernis est donc d'une grande importance pour la conservation des objets colorés.

J'ai fait à ce sujet un grand nombre d'expériences, qu'il est inutile de rappeler ici, pour étudier les qualités de tous les vernis dont je pouvais disposer. Voici les principaux faits observés : Le meilleur vernis serait, sans aucun doute, celui qui, étant saturé d'oxigène, n'en enlèverait pas au corps qu'il recouvre. Or, aucun vernis ne possède cette propriété ; on est donc forcé de prendre celui qui est le moins altérable à l'air.

On distingue quatre espèces de vernis : 1° vernis à l'alcool ; 2° vernis à l'essence de térébenthine ; 3° vernis à l'huile de lin, et 4° vernis à l'essence de térébenthine, les résines employées pour faire les deux premiers étant ou la gomme laque ou la gomme copal. Les trois premiers vernis ne peuvent convenir, car ce sont eux qui altèrent le plus les couleurs. Le quatrième les altère aussi, mais moins, surtout quand il est saturé de litharge, parce qu'alors il est moins disposé à réagir sur le peroxide. Voici la composition de ce vernis : dans un pot vernissé on met 1/2 litre d'huile de lin, de 4 à 8 grammes de litharge en poudre fine, 2 grammes de sulfate de zinc, et l'on chauffe à une chaleur modérée pendant plusieurs heures. Quand la dis-

solution de l'oxide de plomb est faite, on filtre pour séparer la litharge excédante. Si l'huile s'est trop épaissie, on la dissout avec de l'essence de térébenthine qu'on a fait bouillir préalablement dans un ballon sur la litharge, pour enlever l'acide succinique qui pourrait s'y trouver, lequel altérerait les couleurs. Le vernis préparé, on l'étend sur la pièce en couche très mince avec un pinceau, et on le fait sécher à une douce température. Quand la pièce est très-sèche, on met une seconde couche et l'on fait également sécher. A la première application du vernis, voici les effets que l'on observe : le bleu du second ordre disparaît, de sorte que le vert bleuâtre devient vert-jaune ; le jaune et le rouge changent très-peu. Quant aux couleurs du troisième ordre, surtout le vert foncé, elles restent intactes. De sorte que, au moyen du vernis, les pièces sont tout à fait préservées.

Quand on veut obtenir et conserver les couleurs du deuxième ordre, à l'exception du vert bleuâtre, du vert pré, il faut, dès l'instant qu'on a passé le vert bleuâtre et que le vert jaune commence à paraître, il faut s'arrêter, laver, faire sécher, mettre le vernis ; alors la couleur est préservée. Il faut dire que ce vernis ne jouissant pas d'une transparence parfaite, puisqu'il est coloré en brun, les couleurs perdent de leur éclat, mais gagnent en solidité. On peut se demander pourquoi les couleurs du troisième ordre sont plus facilement préservées que celles du deuxième, et surtout du premier. On pourrait croire que les couches de peroxide, étant plus épaisses, sont préservées plus facilement ; mais alors la première couche disparaissant, on devrait voir la couche qui précède, ce qui ne paraît pas être. Au surplus, la disparition du bleu du second ordre nous montre une action particulière du vernis, qu'il est bien difficile d'expliquer à priori. Je dis à priori, parce que les couches de peroxide de plomb sont si minces, qu'on ne peut analyser les effets produits. On ne peut qu'observer ces effets, les décrire en s'appuyant sur les données que la physique

et la chimie nous fournissent. MM. Lefranc, habiles fabricants de vernis, ont eu la bonté de me préparer un vernis gras à la gomme copal, qui, loin d'altérer le bleu, produit sur le cuivre platiné, lui donne au contraire plus d'éclat, du moins pour certaines teintes. Ce vernis est le plus résistant que l'on connaisse.

De la coloration des pièces en cuivre, en platine, en argent, maillechort, laiton, en fer ou acier.

Tous les effets de coloration que je viens de décrire, ont été produits sur l'or ou le cuivre doré ; ces effets ont lieu, quelle que soit l'étendue des surfaces; mais il n'en est pas de même du laiton et quelquefois du cuivre rouge: il s'opère au commencement un phénomène dont je ne connais pas bien la cause, quoique je sois parvenu au moyen de m'en garantir.

Laiton. — Quand la pièce est petite (1 ou 2 centimètres de superficie), la coloration s'opère dès que le circuit est fermé, et d'autant plus rapidement que la surface est plus petite; mais quand elle est plus grande, la pièce reste brillante pendant longtemps, et conserve même son éclat. La surface se trouve donc dans un état passif analogue à celui qu'on fait acquérir au fer par différents moyens, puisqu'il ne s'opère aucun effet de coloration. Cet état apparent de passivité que présentent également d'autres métaux, est-il dû à un simple dépôt d'oxigène sur la surface, ou à une couche d'oxide de cuivre qui se forme avant la formation du peroxide de plomb? Les faits qui vont suivre laisseront entrevoir la cause du phénomène. L'état apparent de passivité est indiqué par un dépôt abondant du plomb sur l'électrode négatif, ce qui s'explique facilement, puisqu'il ne se forme pas de peroxide.

L'expérience ayant appris qu'une très-petite surface se colore immédiatement, il s'ensuit qu'elle acquiert la modification nécessaire pour que le phénomène ait lieu. Cela posé, on peut faire acquérir à de grandes surfaces de laiton cette modification,

pour que la coloration s'opère comme sur de petites surfaces. Il faut pour cela plonger d'abord dans la dissolution alcaline une petite portion de la surface, qui se colore aussitôt, et continuer à immerger les parties voisines jusqu'à ce que toute la pièce soit en contact avec le liquide.

La modification qu'acquiert alors la pièce est indiquée par un nuage fugitif qui recouvre toute la pièce, et dont on ne peut définir la couleur, tant elle est fugace; mais ce qu'il y a de particulier et de non moins étonnant, c'est que la première partie plongée, qui s'est colorée presque entièrement, perd sa couleur et reprend sensiblement celle du métal, sans qu'il soit possible de la recolorer; une fois le nuage étendu comme une ombre sur toute la surface, en très-peu d'instants on voit toutes les phases de la coloration se produire telles qu'elles ont été décrites précédemment, et les couleurs rivaliser pour l'éclat avec ce que l'or le plus poli nous a offert de mieux. Il n'est question ici, bien entendu, que de la coloration analogue à celles obtenues sur l'or et le cuivre doré, et non de la coloration dont les teintes ont un aspect vineux que l'on obtient sur de grandes pièces, qui restent longtemps en expérience.

Quand on veut colorer une pièce ayant de certaines dimensions, en suivant la marche que je viens d'indiquer, on la pose sur un plan incliné plongeant dans la dissolution, et le long duquel on la fait descendre lentement. Au moyen de cette disposition, il n'y a à chaque instant, en contact avec la liqueur, qu'une petite portion de la surface non encore soumise à l'action voltaïque. On serait porté à croire, en raison des effets produits, que si l'on augmentait les dimensions de l'électrode négatif, on rendrait promptement active une grande surface; mais il n'en est rien; car, que cet électrode soit grand ou petit, la surface positive, quand elle a une certaine étendue, reste toujours passive, de sorte que pour la rendre active il faut suivre la marche que je viens d'indiquer. Quant à la véritable cause du phénomène, je ne l'ai pas encore aperçue; seulement,

comme les couleurs sont plus stables sur le laiton que sur l'or, il est probable qu'il se forme une combinaison ou peut-être un mélange d'oxide de cuivre et de peroxide de plomb, que des recherches ultérieures feront connaître. En attendant, je dirai que parmi les couleurs obtenues, il y a, dans le second ordre, un jaune d'or comparable à celui de l'or, et qui, dans quelques cas même, paraît identique.

Le cuivre rouge prend aussi quelquefois l'état passif, mais moins fréquemment que le laiton.

L'argent n'est jamais passif quand sa surface est préparée en suivant toutes les indications que j'ai données; mais sa coloration ne ressemble en rien à celle des autres métaux. Quoique l'on puisse suivre les différents ordres des anneaux, attendu que ce métal éprouve promptement une oxidation qui donne une teinte jaunâtre vineuse à toutes les couleurs; quand la surface est parfaitement polie, et que le courant n'est pas assez intense pour altérer bien sensiblement l'argent, alors on peut obtenir des couleurs assez vives.

Le platine, et surtout le cuivre platiné, se colorent des plus riches couleurs bleues que l'art, je crois, puisse produire. Tout porte à croire que l'oxidation du platine intervient dans la production de ces couleurs, qui serait le résultat de la combinaison ou du mélange d'un oxide de platine et de peroxide de plomb; c'est un point qui sera ultérieurement traité : bien que le bleu soit la couleur dominante, néanmoins, on obtient plusieurs couleurs des diverses séries des anneaux colorés. Les violettes et les bluets, qui se trouvent parmi les objets que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, montreront, je crois, jusqu'à quel point la couleur bleue dont il est question approche de celle des fleurs naturelles.

Le maillechort, frotté à sec avec de la ponce très-fine et une brosse, se colore très-bien, sans que sa surface devienne passive, du moins dans la plupart des cas. Quand sa surface est polie, on peut y développer de très-belles couleurs.

L'acier poli se colore facilement quand sa surface a été préparée convenablement. On retrouve les diverses teintes qu'il prend quand on le chauffe, outre les tons qui dépendent des dépôts successifs de couches de peroxide.

Conclusion.

Les détails dans lesquels je suis entré, tant sur l'analyse des effets de coloration, que sur les moyens pratiques à l'aide desquels on peut les appliquer à l'industrie, suffisent, je l'espère, pour mettre à même les personnes qui voudront s'en occuper, de le faire sans éprouver des difficultés trop grandes. En terminant, je comparerai les effets que j'ai observés avec les anneaux électro-chimiques de Nobili, dont il a été fait mention au commencement de ce mémoire, en m'attachant particulièrement à ceux qu'il a obtenus avec l'acétate de plomb, me proposant d'examiner dans un autre mémoire les effets résultant de la réaction des autres dissolutions. Pour obtenir les anneaux colorés concentriques, plus ou moins rapprochés, sur une lame d'or rendue positive, Nobili avait employé une dissolution neutre ou sensiblement neutre d'acétate de plomb. Il a bien rapporté le fait, mais sans chercher à l'expliquer. Ces anneaux devaient disparaître promptement aussitôt que l'acide acétique devenait libre, en raison de la réaction que cet acide exerce sur le peroxide de plomb; mon mode d'expérimentation et les effets obtenus sont différents. La dissolution que j'emploie est alcaline et ne pourrait être autre, parce qu'il faut que l'oxide de plomb qui se porte au pôle positif en se peroxidant, joue, relativement à la potasse, le rôle d'acide, pour que l'adhérence soit aussi forte que possible, ce qui ne saurait avoir lieu en opérant avec l'acétate de plomb ou un autre sel de plomb, par la raison que l'oxide se comporte comme base. D'un autre côté on a toujours des anneaux colorés dans les expériences de Nobili, tandis qu'avec mon mode d'expérimentation, on peut obtenir des teintes uniformes, durables et très-adhérentes, sur

des surfaces d'une certaine étendue. Nobili a cherché les anneaux colorés, et moi je les évite. Il n'y a réellement de commun entre les anneaux colorés électro-chimiques de Nobili, et les phénomènes de coloration dont il est question ici, que le fait que les uns et les autres sont produits par des lames minces.

Dans un troisième mémoire, j'exposerai les effets divers obtenus en opérant sur des lames de cuivre ou d'un autre métal, recouvertes d'une couche métallique ou d'oxide, afin de montrer jusqu'à quel point on peut varier les effets qui viennent d'être décrits ; enfin je n'omettrai rien de ce qui pourra éclairer le nouvel art dont je cherche à poser les bases.

DESCRIPTION DE PLUSIEURS INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS NOUVEAUX POUR DÉTERMINER LES CONSTANTES D'UN CIRCUIT VOLTAÏQUE, par Mr. Ch. WHEATSTONE, membre de la Société royale de Londres, etc. (*Phil. Trans.*, deuxième partie, année 1843)[1].

---

§ I. — Je me propose, dans ce Mémoire, de rendre compte de divers instruments et procédés que j'ai inventés et employés depuis plusieurs années, dans le but de rechercher les lois des courants électriques. L'objet pratique vers lequel mon attention a été principalement dirigée, et pour lequel ces instruments ont été originairement construits, était de déterminer les conditions les plus avantageuses à la production d'effets électri-

[1] Nous empruntons la traduction de ce Mémoire important aux *Annales de Chimie et de Physique*, qui viennent de le publier dans le numéro de mars 1844. La traduction, due à Mr. J.-V. *Fayeux*, a été faite avec beaucoup de soin; aussi n'avons-nous pas cru pouvoir mieux faire que de nous borner à la reproduire. (R.)

ques à travers des circuits d'une grande étendue, afin de constater, au point de vue pratique, la possibilité de transmettre des signaux au moyen de courants électriques, à des distances plus considérables qu'on ne l'avait tenté jusqu'alors.

Guidé par la théorie de Ohm, et à l'aide des instruments que je vais décrire, j'ai complétement réussi dans cette entreprise; mais l'usage des nouveaux instruments n'est pas limité à cet objet spécial; j'ai la confiance qu'on les trouvera d'un grand secours dans toutes les recherches ayant rapport aux lois des courants électriques, et aux diverses applications pratiques que l'on voit se multiplier chaque jour de cet agent étonnant. Source énergique de lumière, de chaleur, d'action chimique, de puissance mécanique, il nous suffira de connaître les conditions dans lesquelles ses divers effets peuvent se manifester le plus économiquement et le plus énergiquement possible, pour être en état de juger si les hautes espérances conçues de plusieurs côtés, au sujet de quelques-unes de ces applications, sont fondées sur une prévision raisonnable ou sur de fausses conjectures. La théorie dont nous sommes actuellement en possession, suffit amplement à nous diriger sûrement dans cette recherche; mais les expériences n'ont pas encore été assez multipliées pour nous mettre à même d'obtenir, sinon dans quelques cas peu nombreux, les valeurs numériques des constantes qui entrent dans divers circuits voltaïques; et, sans cette connaissance, il nous est impossible d'arriver à aucune conclusion exacte.

§ II. — Les instruments et les procédés que je vais décrire étant tous fondés sur les principes établis par Ohm, dans sa théorie du circuit voltaïque, et cette belle et féconde théorie n'étant point encore généralement comprise et admise même de plusieurs personnes, se livrant elles-mêmes à des recherches originales, j'oserais à peine espérer être compris dans les descriptions et explications que je vais donner, si je ne les faisais précéder d'un exposé succinct des principaux résultats qui en ont été déduits. On apercevra bien vite combien les idées clai-

res de forces et de résistances électromotrices, substituées aux notions vagues d'intensité et de quantité, qui ont si longtemps prévalu, nous mettent en état de donner des explications satisfaisantes de phénomènes très-importants, dont les lois ont, jusqu'à présent, été enveloppées d'obscurité et de doute. A considérer les lois du circuit électrique du point de vue où nous ont placés les travaux de Ohm, il n'existe guère une seule branche des sciences expérimentales, dans laquelle des phénomènes aussi nombreux et aussi variés soient exprimés par des formules d'une telle simplicité et d'une aussi grande généralité. Dans la plupart des sciences physiques, les faits d'observation et d'expérience ont marché d'un pas égal avec les principes généralisateurs de la théorie; seule, cette science les avait accumulés dans une prolifique abondance sans qu'aucune tentative heureuse eût été faite pour les exprimer mathématiquement. Mais ce progrès est maintenant heureusement effectué, et ce qui n'a été jusqu'à présent qu'une simple matière à des conjectures spéculatives, se trouve transporté dans le domaine de la philosophie positive.

Par *force électromotrice* on entend la cause qui, dans un circuit, donne naissance, lorsqu'il est fermé, à un courant électrique, et, lorsqu'il ne l'est pas, à une tension électroscopique. Par *résistance*, on veut indiquer l'obstacle opposé au passage du courant électrique par les corps qu'il a à traverser; ce mot signifie l'inverse de ce qu'on appelle ordinairement leur pouvoir conducteur.

Lorsque la vitesse, dans une portion quelconque du circuit, est accrue ou diminuée, soit en faisant varier la force électromotrice, soit par un changement dans la résistance de cette portion, la vitesse, dans toutes les autres parties du circuit, augmente ou diminue dans un degré correspondant. De sorte que dans le même temps donné, la même quantité d'électricité passe toujours par chaque section transversale du circuit.

La force du courant est directement proportionnelle à la

somme des forces électromotrices qui sont en activité dans le circuit, et inversement proportionnelle à la résistance totale de toutes ses parties ; ou, en d'autres mots, la force du courant est égale à la somme des forces électromotrices divisées par la somme des résistances.

Représentons par F la force du courant, par E les forces électromotrices, et par R les résistances : alors

$$F = \frac{E}{R}.$$

La longueur d'un fil de cuivre d'une épaisseur donnée, dont la résistance égale la somme des résistances d'un circuit, est ce que Ohm appelle sa longueur réduite, expression que l'on trouvera souvent commode d'employer.

Si l'on augmente ou diminue proportionnellement les forces électromotrices et les résistances d'un circuit, la force du courant demeure la même, ou $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$. D'où il suit qu'un seul élément voltaïque ou une batterie composée d'un nombre quelconque d'éléments exactement semblables produit le même effet, pourvu que l'on n'interpose, dans le circuit, aucune résistance additionnelle. De même, un élément thermo-électrique et un élément voltaïque produiront le même effet, si la grande infériorité de force électromotrice du premier est compensée par une diminution correspondante dans sa résistance ; dans un appareil thermo-électrique, la résistance est en général faible, parce que le circuit est entièrement métallique, tandis que dans un élément voltaïque la résistance du liquide est toujours considérable.

Toute résistance interposée diminue la force du courant, mais les effets en sont d'autant moindres qu'elle est plus petite, proportionnellement aux autres résistances du circuit. D'où il résulte que dans deux circuits produisant des courants d'égale force, si la même résistance est introduite, les forces des deux

courants peuvent être affaiblies dans des proportions très-différentes. Un seul élément voltaïque $\frac{E}{R}$, et une série composée d'un nombre quelconque de pareils éléments $\frac{nE}{nR}$, forment des circuits dans lesquels les courants ont la même force ; mais les résultats obtenus seront très-différents suivant que la résistance ajoutée est faible ou considérable, comparée aux résistances primitives des circuits. Si elle est faible, les effets des deux circuits resteront sensiblement les mêmes ; mais si elle est considérable, la résistance qui affaiblit grandement le courant dans le circuit d'un seul élément, ne produit qu'un affaiblissement insignifiant dans celui de la série. Ce fait explique la nécessité d'employer une série pour vaincre de grandes résistances. Les mêmes remarques s'appliquent à la comparaison d'un circuit thermo-électrique avec un circuit voltaïque.

La formule suivante est l'expression générale de la force du courant dans un circuit voltaïque, complété par un fil conjonctif ; les plaques métalliques des éléments voltaïques étant parallèles les unes aux autres et d'égale grandeur,

$$F = \frac{nE}{\frac{nRD}{S} + \frac{rl}{s}},$$

F est la force du courant, E la force électromotrice d'un seul élément, n le nombre des éléments, R la résistance spécifique du liquide, D l'épaisseur de la couche liquide ou la distance des plaques, S la section des plaques en contact avec le liquide, r la résistance spécifique du fil métallique conjonctif, l sa longueur, s sa section.

Traduisant dans la langue ordinaire, nous avons les lois suivantes : La force électromotrice d'un circuit voltaïque varie avec le nombre des éléments, et la nature des métaux et des

liquides qui constituent chaque élément, mais elle ne dépend en aucune façon des dimensions d'aucune de leurs parties.

La résistance de chaque élément est directement proportionnelle à la distance où se trouvent les plaques l'une de l'autre dans le liquide, et à la résistance spécifique de ce liquide, et inversement proportionnelle à la surface des plaques en contact avec lui.

La résistance du fil conjonctif du circuit est inversement proportionnelle à sa section.

Les limites de ce Mémoire ne me permettent pas de m'arrêter plus longtemps aux conséquences de la théorie du circuit électrique de Ohm ; je suis obligé de renvoyer, pour de plus amples développements, à l'ouvrage de l'auteur : *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet*, Berlin 1827, à ses divers autres Mémoires, publiés dans le *Jahrbuch der Physik*, de Schweigger, et aux applications plus récentes de la théorie faites par Fechner, Lenz, Jacobi, Poggendorff, Pouillet, etc.

Il est cependant une classe de considérations qu'il m'est indispensable d'exposer, parce que sur elles sont fondés plusieurs des instruments et des procédés que j'aurai occasion de mentionner dans la suite ; je fais allusion aux lois de distribution du courant électrique dans les diverses parties du circuit, lorsqu'on juxtapose un conducteur latéral pour dériver une portion du courant d'une étendue limitée de ce même circuit.

Représentons par λ la longueur réduite de la portion du circuit d'où le courant est partiellement dérivé, par λ' celle du fil de dérivation, et par L celle de la partie non divisée du circuit. On peut démontrer que la force du courant, dans chacun des conducteurs adjacents λ et λ', est en raison inverse de leurs longueurs réduites, et que la longueur réduite d'un seul fil métallique qui, substitué aux deux, n'altérerait pas la force du courant, est $\frac{\lambda\lambda'}{\lambda+\lambda'}$, que nous représentons par Λ.

La force du courant dans le circuit primitif, avant l'intro-

duction du fil métallique qui le bifurque, se trouvera donc exprimée ainsi :

$$F = \frac{E}{L + \lambda},$$

et celle du courant, dans les trois portions différentes du circuit altéré, représentée par les expressions suivantes :

Dans la portion principale, ou non divisée L,

$$F_1 = \frac{E}{L + \Lambda} = \frac{E(\lambda + \lambda')}{L(\lambda + \lambda') + \lambda\lambda'}.$$

Dans la portion d'où le courant a été partiellement dérivé ou λ,

$$F_2 = \frac{E}{L + \Lambda} \cdot \frac{\Lambda}{\lambda} = \frac{E\lambda'}{L(\lambda + \lambda') + \lambda\lambda'}.$$

Dans la portion qui détourne une partie du courant, ou λ',

$$F_3 = \frac{E}{L + \Lambda} \cdot \frac{\Lambda}{\lambda'} = \frac{E\lambda}{L(\lambda + \lambda') + \lambda\lambda'}.$$

§ III. — Rarement un progrès réel se trouve effectué dans une théorie scientifique sans exiger, dans sa terminologie, un changement correspondant. Maintenant qu'il est prouvé, au-dessus de toute espèce de doute, que les diverses sources d'une action électrique continue ne diffèrent entre elles que par la somme de leurs forces électromotrices modifiées par la résistance du circuit dont elles font partie, il devient important, afin de donner de la précision aux vérités que nous exposerons, et de nous soustraire aux circonlocutions autrement inévitables, d'adopter, pour exprimer la source d'un courant, des termes généraux, sans aucun rapport au mode particulier de sa production ; j'emploirai donc le mot *rhéomoteur* pour désigner tout appareil qui donne naissance à un courant électrique, que ce soit un élément voltaïque ou une batterie voltaïque, un élément thermo-électrique ou une batterie thermo-électrique,

ou enfin toute autre source quelconque d'un courant électrique. En parlant d'un seul élément, je l'appellerai un *élément rhéomoteur*, et je donnerai le nom de *série rhéomotrice* à ce que l'on nomme habituellement une pile ou une batterie voltaïque ou thermo-électrique. Je me servirai encore des expressions ordinaires, lorsque j'aurai à parler des sources spéciales de production des courants électriques; mais lorsque je me sers des termes généraux, on doit les entendre comme s'appliquant indifféremment à toutes ces sources.

Le besoin d'un terme général pour désigner un instrument propre à mesurer la force d'un courant électrique indépendant de sa construction particulière, a été longtemps senti. J'emploierai dans ce but le mot *rhéomètre*, tout en continuant à me servir, parfois, de ceux de galvanomètre, voltamètre, etc., pour distinguer les instruments particuliers auxquels ces noms ont été donnés, quoique peut-être les termes de rhéomètre galvanique, chimique, calorifique, etc., leur fussent mieux appropriés.

C'est peut-être ici le lieu d'expliquer un petit nombre de termes que j'ai souvent l'occasion d'employer, quoique ce ne soit pas dans le cours de ce Mémoire. Par *rhéotome* je désigne un instrument qui interrompt périodiquement un courant, et par *rhéotrope* un instrument qui le renverse alternativement. Un *rhéoscope* est un instrument pour constater simplement l'existence d'un courant électrique. Le mot *rhéostat* sera expliqué plus loin. Je n'ai point introduit ces termes, que l'on trouvera très-commodes, et qui nous mettront en état d'exposer beaucoup plus clairement des propositions générales, sans avoir pour moi de bonnes autorités. Le mot *réophore* était employé par Ampère, pour désigner le fil conjonctif d'un appareil voltaïque, comme portant ou transmettant le courant; et le mot *rhéomètre*, proposé pour la première fois par Mr. Péclet, comme synonyme de galvanomètre, a été généralement adopté par les auteurs français qui ont écrit sur la physique.

§ IV. — La méthode que je vais exposer pour déterminer les constantes dans un circuit réophorique, est essentiellement celle qui a été adoptée par Fechner, Lenz, Pouillet, etc., dans leurs vérifications expérimentales de la théorie de Ohm.

On détermine la résistance d'un circuit en observant la force du courant, d'abord sans aucune résistance additionnelle interposée dans le circuit, puis après avoir ajouté une résistance connue. Alors

$$F = \frac{E}{R}, \text{ et } F' = \frac{E}{R+r},$$

d'où

$$\frac{F}{F'} = \frac{R+r}{R},$$

équation d'où l'on déduit facilement la valeur de R, toutes les autres quantités qui y entrent étant connues,

$$R = \frac{F'}{F - F'} r.$$

La force électromotrice d'un circuit s'obtient en multipliant la force du courant par la résistance totale; car puisque $F = \frac{E}{R}$, on a $E = FR$.

Le principe de cette méthode est extrêmement simple; mais la difficulté de déterminer immédiatement la force d'un courant au moyen d'un galvanomètre est un obstacle à son emploi général. Fechner[1] mesurait la force du courant par le nombre d'oscillations de l'aiguille, placée à angle droit avec la direction des circonvolutions du fil, opération très-fastidieuse; d'autres ont employé les déviations de l'aiguille, les degrés correspondants de force ayant été préalablement déterminés par quelque procédé particulier, ou déduits de quelque règle dépen-

[1] *Massbestimmungen über die galvanische Kette*. Leipsick, 1831, page 5.

dant de la construction particulière de l'instrument. Une autre objection contre l'emploi d'un galvanomètre pour mesurer la force d'un courant naît des changements qui ont souvent lieu dans l'intensité magnétique de l'aiguille, surtout lorsqu'elle a été soumise à l'action d'un courant trop fort.

Le principe de ma méthode consiste à employer, au lieu de résistances constantes, des résistances variables, ramenant par là, à l'égalité, les courants dans les circuits comparés, et concluant, du total de la résistance introduite ou supprimée pour passer d'une déviation de l'aiguille à une autre, les valeurs des forces électromotrices et des résistances du circuit, selon les conditions particulières de l'expérience. Cette méthode n'exige aucune connaissance des forces correspondantes aux différentes déviations de l'aiguille.

Pour appliquer ce principe, il est nécessaire d'avoir un moyen de varier la résistance interposée, de manière qu'elle change graduellement dans des limites voulues quelconques. Pour y parvenir, j'ai inventé deux instruments : l'un, destiné aux circuits dans lesquels la résistance est considérable ; l'autre, pour ceux dans lesquels elle se trouve faible[1].

[1] Il paraît que le professeur Jacobi de Pétersbourg a eu aussi l'idée de construire un instrument du même genre. Cet instrument, qu'il a appelé *agomètre*, diffère du mien dans les détails de sa construction, mais le principe en est le même ; il est seulement moins commode dans l'application. Voici comment le professeur Jacobi s'exprime, dans une communication qu'il fit à la réunion de Glascow de l'Association Britannique (voyez le n° 678, année 1840, de l'Athenæum).

«Avant d'entrer en matière, on me permettra de dire quelques mots d'un instrument que j'ai présenté à l'Académie des Sciences au commencement de cette année, et qui est destiné à régler le courant galvanique et à plusieurs recherches du même genre. Pendant mon séjour à Londres, le professeur Wheatstone m'a montré un instrument construit exactement d'après les mêmes principes, dans lequel seulement il y a quelques modifications de peu d'importance. Maintenant il est tout à fait impossible que Mr. Wheatstone ait eu la moindre connaissance de mon instrument ; mais comme l'usage de cet instrument deviendra probablement très-général, il est bon de remarquer que le savant physicien an-

§ V. — Le premier instrument est représenté, *fig.* 1, *A*, *pl. I*. *g* est un cylindre de bois, *h* un cylindre de laiton, tous deux du même diamètre, et ayant leurs axes parallèles. Sur le cylindre de bois est entaillée une rainure en hélice, et à l'une de ses extrémités est fixé un anneau de cuivre, auquel est attaché l'un des bouts d'un long fil métallique d'un très-petit diamètre. Ce fil, lorsqu'il est enroulé autour du cylindre de bois, remplit toute la rainure, et est fixé, par son autre bout, à l'extrémité opposée du cylindre de cuivre. Deux ressorts *j* et *k* pressant, l'un, contre l'anneau de cuivre du cylindre de bois, l'autre, contre l'extrémité du cylindre de cuivre *h*, au moyen de deux vis de jonction, peuvent être mis en communication avec les fils métalliques du circuit. La manivelle mobile *m* sert à faire tourner les cylindres sur leurs axes. Lorsqu'elle est placée sur le cylindre *h*, et tournée de gauche à droite, le fil métallique se déroule de dessus le cylindre de bois, et s'enroule sur le cylindre de cuivre ; mais lorsqu'on l'adapte au cylindre *g*, et qu'on la tourne de droite à gauche, le contraire a lieu. Les circonvolutions sur le cylindre de bois étant isolées, et tenues séparées l'une de l'autre par la rainure, le courant suit la longueur entière du fil enroulé sur ce cylindre ; mais les circonvolutions sur le cylindre de cuivre n'étant pas isolées, le courant passe immédiatement du point du fil en contact avec

glais ne s'en sert pas seulement pour régler les courants, mais surtout pour mesurer leur intensité, et pour déterminer les constantes de la force électromotrice. . . . . »

Plus tard, Mr. Jacobi ayant eu occasion d'employer ma méthode pour déterminer les constantes d'un circuit voltaïque, Mr. Poggendorff indiqua qu'il en avait déjà appliqué une semblable, ou fondée sur le même principe, à des recherches du même genre. Ce n'est qu'à la fin de 1841, que Mr. Poggendorff a fait connaître ce travail, et c'est en 1840 que Mr. Jacobi a eu connaissance de mes procédés. D'ailleurs la méthode de Mr. Poggendorff a en fait très-peu de ressemblance avec la mienne, et les résultats qu'il en a tirés sont aussi différents ; seulement le principe mathématique qui lui sert de base est naturellement le même. (A.)

le cylindre au ressort *k*. La partie efficace de la longueur du fil métallique se réduit donc à la portion variable enroulée sur le cylindre de bois.

Dans l'instrument que j'emploie ordinairement, les cylindres ont 6 pouces anglais de longueur et 1 $^1/_2$ pouce de diamètre; le filet de la vis est de $^1/_{40}$ de pouce, et le fil, qui est de laiton, a $^1/_{100}$ de pouce de diamètre. Je fais usage d'un fil très-mince et d'un métal mauvais conducteur, afin de pouvoir introduire une plus grande résistance dans le circuit.

Il y a une échelle placée entre les deux cylindres pour mesurer le nombre des circonvolutions déroulées; et pour donner les fractions de circonvolution, un index, fixé à l'axe de l'un des cylindres, parcourt les divisions d'un cercle gradué.

Comme le principal usage de cet instrument est d'ajuster ou régler le circuit de manière à obtenir un degré de force constant, je lui ai donné le nom de *rhéostat*.

La *fig*. 1, montre la disposition du circuit lorsqu'il est préparé pour une expérience. *B* est un galvanomètre très-sensible, à aiguille astatique, portant un microscope pour lire les divisions du cercle, ce qui facilite grandement les observations. *C* est le rhéomoteur.

J'ai besoin de faire ici une digression d'un instant, pour décrire l'élément voltaïque que j'ai employé dans la plupart de mes recherches rhéométriques, et que j'ai reconnu très-constant dans son action, et commode pour les manipulations. Il est complétement inutile de faire usage d'éléments de grande dimension dans de telles investigations; car, lorsqu'on introduit des résistances considérables dans les circuits, ce qui arrive le plus fréquemment, ils ne produisent pas sensiblement des effets plus grands que des éléments plus petits, et, dans tous les cas, les mesures peuvent se déterminer aussi exactement avec de petits éléments qu'avec des grands.

L'élément voltaïque *C* consiste en un petit vase carré de porcelaine vernie, dont les faces latérales ont 2 pouces anglais

de long et 1 ½ pouce de hauteur, au centre duquel est placé un petit cylindre poreux, de terre cuite ou de bois, rempli d'un amalgame liquide de zinc, l'espace entre ces deux vases étant occupé par une solution de sulfate de cuivre. Dans cette solution se trouve placée une bande d'une feuille mince de cuivre, pliée en long sur elle-même, parallèlement au cylindre, et du bord de laquelle on a découpé une petite lisière qui y reste adhérente, et a été retournée pour qu'on pût y attacher le fil métallique du circuit, ou la plonger dans l'amalgame d'un autre élément semblable. La *fig*. 3 représente plusieurs éléments ainsi construits, combinés pour former une série. On doit voir qu'en principe ce n'est là qu'une légère modification de la batterie constante du professeur Daniell, l'amalgame liquide de zinc étant employé comme dans la première expérience de Mr. Kemp, au lieu de barres ou de plaques de zinc amalgamé, et la solution acide ayant été mise de côté. Cet arrangement, outre qu'il est très-constant dans son action, est extrêmement économique et facile à manipuler. On peut substituer au cuivre un métal négatif quelconque, pourvu que le liquide interposé soit une solution d'un sel de ce métal.

§ VI. — Le rhéostat que j'emploie pour des circuits dans lesquels la résistance est comparativement faible, est représenté dans la *fig*. 2 *A*. *a* est un cylindre de bois bien sec, sur la surface duquel une rainure est creusée en hélice ; un gros fil de cuivre est enroulé autour du cylindre occupant la rainure, et formant comme le filet d'une vis. Immédiatement au-dessus du cylindre, et parallèlement à son axe, est placée une barre métallique triangulaire *b*, portant un curseur *c* ; à ce curseur est adapté un ressort *d*, qui presse constamment contre les spires du fil de cuivre, cédant à toutes les petites inégalités. L'un des bouts de l'hélice métallique est attaché à un anneau de laiton *e*, contre lequel presse un ressort *f* qui est en communication, au moyen d'une vis de jonction, avec l'une des extrémités du circuit ; l'autre extrémité du circuit est retenue

par une vis semblable, se trouvant en connexion métallique avec la barre triangulaire de métal. En tournant la manivelle *h*, le cylindre se meut sur son axe dans l'une ou l'autre direction, et le curseur *c*, guidé par le fil de cuivre, glisse le long de la barre, avançant ou reculant suivant que le cylindre tourne à droite ou à gauche; le curseur venant à se mettre en contact avec un point différent du fil de cuivre, une résistance différente est introduite dans le circuit, occasionnée par la seule portion du fil, comprise entre le curseur et le bout qui est en communication avec le ressort *f*. Le cylindre de l'instrument que j'ai construit a 10 $^1/_2$ pouces anglais de longueur, et 3 $^1/_4$ pouces de diamètre; le fil est de cuivre, de $^1/_{16}$ de pouce de diamètre, et fait 108 circonvolutions autour du cylindre. Les dimensions de l'instrument, la grosseur, la longueur, et la matière du fil métallique, peuvent être variées selon les limites de la résistance variable qu'on désire introduire dans le circuit, et le degré d'exactitude avec lequel il est nécessaire de mesurer ces variations.

La *fig.* 2 représente la disposition d'un circuit thermo-électrique dans lequel cet instrument a été interposé. *C* est l'élément thermo-électrique; *B* le galvanomètre qui, dans ce cas-ci, ne doit point porter de nombreuses circonvolutions d'un fil métallique mince comme dans l'arrangement précédent, car on introduirait par là une trop grande résistance dans le circuit, mais doit consister en une seule plaque épaisse, ou un gros fil métallique faisant un seul tour. Je pense même qu'il serait préférable d'adopter la méthode qui sera décrite, § XV, de détourner une portion du courant du fil d'un galvanomètre sensible. Tout rhéomoteur dans lequel la résistance est faible peut être employé, conjointement avec cette forme du rhéostat, au lieu de l'élément thermo-électrique décrit.

Le rhéostat, particulièrement sous la dernière forme que nous venons de décrire, peut être utilement employé comme régulateur d'un courant électrique, pour maintenir exactement

le même degré de force, pendant un temps quelconque voulu, ou pour le changer dans toute proportion exigée. Interposé dans le circuit d'une machine électro-magnétique, quelques variations qu'éprouve le rhéomoteur dans son énergie, la même vitesse peut être constamment rendue au courant, en tournant le cylindre du régulateur à gauche ou à droite, suivant qu'elle augmente ou diminue. De même toute autre vitesse, dans des limites données, peut être obtenue en ajustant convenablement le rhéostat. Puisque la consommation des matières employées pour une batterie voltaïque dans laquelle il n'existe point d'action locale, est inversement proportionnelle à la résistance du circuit, cette méthode d'altérer la vitesse a un avantage que ne possède aucune autre : la force effective est toujours strictement proportionnelle à la quantité de matières consumées à produire la puissance, point qui serait par la suite d'une très-grande importance, si de nouveaux perfectionnements parvenaient jamais à tirer d'une machine électro-magnétique une source avantageuse de puissance mécanique.

Dans les opérations de l'électro-typie, l'avantage de se servir du rhéostat est évident. En en variant la position de temps en temps, de manière à tenir l'aiguille d'un galvanomètre sur le même point, on peut maintenir un courant au degré quelconque d'énergie voulue, pendant un temps quelconque, sans aucun accroissement ou diminution notable; et comme la nature du dépôt, lorsque la solution dont on l'obtient reste la même, ne varie qu'avec la force du courant et la grandeur de la surface sur laquelle le métal est réduit, lorsqu'on a une fois obtenu un bon effet, on peut, sans difficulté et avec certitude, reproduire les mêmes circonstances et éliminer complétement les chances du hasard.

Cet avantage est donc, je le répète, évident dans les opérations de l'électro-typie, de l'électro-dorure, etc., et dans la production des couleurs de Nobili. Mais ce n'est point ici le lieu de s'étendre sur ce sujet.

§ VII. — *Unité de mesure de la résistance.* — Il est de la plus haute importance d'avoir, pour mesurer les résistances, un terme de comparaison exact et que l'on puisse aisément reproduire. On pourrait se servir, pour cet effet, d'un fil de cuivre d'une longueur et d'un diamètre donnés; mais comme de très-petites différences de diamètre sont accompagnées de différences considérables dans les résistances des fils métalliques, il convient mieux de prendre pour unité de résistance un fil métallique d'une longueur et d'un poids donnés, ce qui permet de déterminer très-exactement de faibles différences. Je prendrai donc, dans toutes mes expériences, pour unité de résistance un fil de cuivre de 1 pied anglais [1] de long, et pesant 100 grains (*poids anglais*). Le diamètre de ce fil est les 0,071 d'un pouce anglais, et il est intermédiaire aux numéros désignés dans le commerce, à Londres, comme du quinze et du seize.

§ VIII. — *Bobines de résistance.* — Il est souvent nécessaire de mesurer des résistances beaucoup trop grandes pour qu'on puisse y parvenir au moyen du rhéostat, quoique la longueur réduite de son fil métallique soit considérable. Je puis, par exemple, désirer connaître la résistance du fil des électro-aimants de mon appareil télégraphique, qui a souvent plusieurs centaines de mètres de longueur, ou celle que présente une très-longue ligne télégraphique, ou la résistance d'une certaine étendue d'un liquide mauvais conducteur. Dans tous ces cas et dans une foule d'autres, j'emploie un autre instrument qui me met en état d'interposer dans le circuit des résistances en quantités quelconques et d'obtenir cependant, par l'adjonction du rhéostat qui lui sert comme d'un régulateur qui le complète et le perfectionne, un degré d'exactitude aussi parfait qu'on le désire. Cet instrument est représenté *fig.* 1, *D* : il consiste en six bobines autour de chacune desquelles s'enroule un fil de cuivre très-fin, recouvert de soie, et d'un diamètre de

[1] Le pied anglais vaut $0^m,304$; 100 grains valent $5^{gr},9$.

$^1/_{200}$ de pouce ; deux de ces fils ont 50 pieds anglais de long, les autres ont respectivement 100, 200, 400 et 800 pieds. Les deux bouts de chaque fil sont attachés à des fils métalliques courts et d'un fort diamètre, fixés aux faces supérieures des cylindres et servant à réunir tous les fils en une seule longueur continue. Les deux fils métalliques, *a*, *b*, forment les extrémités de ces fusées, qui les réunissent au circuit. Sur la face supérieure de chaque cylindre est un ressort double de laiton, mobile autour d'un centre, de sorte que ses extrémités puissent poser à volonté ou sur les bouts des gros fils qui servent à réunir toutes les bobines, ou en être écartées et ne poser que sur le bois. Dans la dernière position, le courant du circuit est obligé de suivre les circonvolutions de la bobine ; mais dans la première position le courant suit le ressort et soustrait du circuit la résistance entière de la bobine. Quand tous les ressorts posent sur les gros fils métalliques, la résistance de toute la série des cylindres est supprimée ; mais en tournant les ressorts de manière à introduire différentes bobines dans le circuit, on peut y faire entrer tout multiple de 50 pieds jusqu'à 1600.

Comme on ne peut pas rigoureusement compter sur la mesure exacte de ces grandes longueurs de fil métallique, il est bon de constater le nombre d'unités de résistance de chaque fil enroulé, ce qui, à l'aide du rhéostat, peut aisément s'effectuer. J'ai trouvé que la résistance entière des 1600 pieds était équivalente à 218880 unités de résistance, ou pieds du fil métallique pris pour terme de comparaison. J'emploie parfois une série auxiliaire de fils enroulés, combinés de la même manière que les précédents, consistant en six bobines du même fil métallique, chacune de 500 verges de long. La longueur réduite de cette série a plus de 233 milles du fil pris pour terme de comparaison. En la combinant avec la précédente, je puis mesurer des résistances égales à 274 $^1/_2$ milles [1].

[1] La verge anglaise vaut environ 1 mètre français, le mille vaut environ 8/5 de kilomètre.

§ IX. — Lorsqu'un élément parfaitement constant, un galvanomètre et un rhéostat sont placés dans un circuit, comme on le voit, *fig.* 1, on peut constater de la manière suivante la résistance de tout corps interposé : observez le point sur lequel se tient l'aiguille ; retirez alors du circuit le corps dont la résistance doit être mesurée, et, au moyen du rhéostat, ajoutez une longueur de fil suffisante pour ramener l'aiguille au même point. Le nombre d'unités de comparaison correspondant à cette longueur ajoutée sera la mesure cherchée.

Il est important de déterminer la résistance du fil métallique du galvanomètre employé dans les expériences ; pour effectuer cette détermination par la méthode ci-dessus, il serait nécessaire d'avoir un galvanomètre auxiliaire ; mais lorsqu'on n'a pas sous la main un second galvanomètre, on peut avoir recours au procédé suivant : prenez deux éléments rhéomoteurs exactement égaux et pour la force électromotrice et pour la résistance ; placez-en un dans le circuit *fig.* 1, et observez soigneusement la déviation de l'aiguille ; interposez ensuite l'autre élément, et ramenez l'aiguille au même point par le moyen du rhéostat. La longueur réduite du fil déroulé λ sera la mesure de la résistance du fil du galvanomètre g, plus celle des fils qui établissent la communication r. Retranchant r de λ, la résistance de g sera déterminée,

$$\frac{E}{R+r+g} = \frac{2E}{2R+r+g+\lambda};$$

d'où

$$g = \lambda - r.$$

La résistance du fil métallique d'un galvanomètre, ou toute autre résistance interposée, peut se constater encore plus exactement au moyen des instruments qui seront décrits § XVI.

§ X. — *Procédé pour déterminer la somme des forces électromotrices d'un circuit voltaïque.* — Le rhéostat fournit un moyen commode de constater la somme des forces électromo-

trices en activité dans un circuit voltaïque, sans avoir besoin pour cela de l'aide d'un rhéomètre gradué pour indiquer des forces proportionnelles, ou d'avoir recours au procédé fastidieux de compter les oscillations d'une aiguille, employé par Fechner dans ses investigations. Il sera d'une grande importance pour les progrès futurs de l'électro-chimie, d'épargner le temps et la peine dans cette opération, car il reste un très-grand nombre d'expériences de ce genre à faire, et de plus les fluctuations dans les forces électromotrices de plusieurs circuits, dues à des actions chimiques ou autres, enlèvent toute espèce de valeur à des observations résultant d'expériences qui exigent un temps considérable.

Le principe sur lequel s'appuie mon procédé est celui-ci : dans deux circuits produisant des effets rhéométriques égaux, la somme des forces électromotrices, divisée par la somme des résistances, est une quantité constante, c'est-à-dire $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$; si E et R croissent ou décroissent proportionnellement, F restera évidemment invariable. Connaissant donc le rapport des résistances dans deux circuits produisant le même effet, nous sommes en état d'en conclure immédiatement celui des forces électromotrices. Cependant, comme il est difficile, dans plusieurs cas, de déterminer la résistance totale, se composant des résistances partielles du rhéomoteur même, du galvanomètre, du rhéostat, etc., j'ai recours au procédé suivant qui est très-simple. Augmentant la résistance du premier circuit d'une quantité connue r, l'expression devient $\frac{E}{R+r}$; afin de rendre l'effet dans le second circuit égal à celui-ci, il est évident que la résistance ajoutée doit être multipliée par le même facteur que celui qui multiplie les forces électromotrices et les anciennes résistances, car $\frac{E}{R+r} = \frac{nE}{nR+nr}$. Le rapport des longueurs des résistances ajoutées r et nr, qui est

connu immédiatement, donne donc celui des forces électromotrices.

Dans l'expérience, je procède ainsi : j'interpose le rhéostat et le galvanomètre dans le circuit; ensuite, au moyen du premier de ces instruments, assisté s'il est nécessaire des cylindres de résistance, j'ajoute une résistance suffisante pour amener l'aiguille exactement à 45 degrés ; je constate la longueur de fil qu'il faut dérouler de dessus le cylindre de laiton du régulateur, pour réduire la déviation de l'aiguille à 40 degrés. Le nombre des tours donne la mesure de la force électromotrice, le nombre correspondant, lorsque le rhéomoteur est l'élément pris pour terme de comparaison, ayant été préalablement déterminé.

§ XI. — Je joins ici quelques mesures de forces électromotrices obtenues par le procédé que je viens de décrire.

1. Trois éléments de différentes grandeurs, composés de cuivre, d'une solution de sulfate de cuivre et d'un amalgame liquide de zinc, furent successivement placés dans le circuit. Le nombre de tours exigé pour ramener l'aiguille de 45 à 40 degrés fut :

Le petit élément décrit § V.	30 tours.
Cylindre de cuivre de 3 1/2 pouces anglais de haut et de 2 1/2 de diamètre. . . .	30
Cylindre de cuivre de 6 pouces de haut et de 3 1/2 de diamètre	30

D'où il suit que, conformément à la théorie, la grandeur d'un élément n'apporte aucune différence dans sa force électromotrice.

2. Cinq petits éléments de cuivre et d'amalgame de zinc furent chargés respectivement avec les cinq solutions suivantes de cuivre : le sulfate, le sulfate ammoniacal, l'acétate, le perchlorure et le nitrate. Quoique la force du courant produite par chaque élément séparément, différât beaucoup de l'un à l'autre, en raison de la conductibilité différente des solutions ; cependant, à l'exception du nitrate, toutes exigèrent le même

nombre de tours indiquant des forces électromotrices égales ; le nitrate présenta des fluctuations entre 23 et 29 degrés, occasionnées probablement par quelque action perturbatrice de l'acide nitrique sur le mercure de l'amalgame.

3. On mesura les forces électromotrices d'un circuit dans lequel 1, 2, 3, 4, 5 éléments semblables furent successivement placés.

1 élément exige	30 tours.
2 éléments.	61
3 éléments.	91
4 éléments.	120
5 éléments.	150

La force électromotrice d'un circuit est donc, comme la théorie l'indique, proportionnelle au nombre d'éléments semblables arrangés en séries dont se compose son rhéomoteur.

4. Les expériences suivantes furent faites dans le but de déterminer la mesure de la force électromotrice contraire qui s'établit dans un circuit, lorsqu'on y interpose un voltamètre ou appareil de décomposition. Le liquide, en contact avec les électrodes de platine, était de l'acide sulfurique étendu. La mesure cherchée s'obtient en retranchant le nombre actuel de tours, de celui qui correspondait à la force électromotrice du circuit avant qu'on y eût interposé l'appareil de décomposition.

		Force électromotrice contraire.
3 éléments avec l'appareil de décomposition	21 tours.	90 — 21 = 69
4 éléments avec l'appareil de décomposition	50	120 — 50 = 70
5 éléments avec l'appareil de décomposition	79	150 — 79 = 71
6 éléments avec l'appareil de décomposition	109	180 — 109 = 71
	Moyenne. . . .	70

La force électromotrice contraire peut donc, dans ce cas, être regardée comme constante et comme étant à celle d'un seul des éléments pris pour terme de comparaison, comme 7 : 3. On voit aisément par là comment il se fait qu'il soit nécessaire d'employer trois de ces éléments pour décomposer

l'eau, dans un appareil portant des électrodes de platine d'une certaine dimension et chargé d'acide sulfurique étendu. La grandeur de cette force contraire varie avec les différents liquides, et suivant la nature des électrodes employés. Comme mon objet actuel n'est point d'approfondir ce sujet, mais simplement de donner quelques exemples des mesures qui peuvent être obtenues par la méthode décrite plus haut, je n'entrerai point dans l'examen de ces modifications intéressantes mais compliquées.

5. La plus grande force électromotrice qu'un élément voltaïque, consistant en deux métaux et un liquide interposé, puisse manifester, a lieu lorsque le liquide est une solution d'un sel du métal négatif; de sorte que, par le dépôt continuel de ce métal, la surface négative est mise à l'abri du contact de substances hétérogènes qui tendraient à donner naissance à un courant inverse. Lorsque, par suite d'une action chimique, une matière hétérogène solide quelconque est déposée sur la surface négative, ou qu'un gaz dégagé s'y trouve adhérent, la force électromotrice de l'élément est réduite Les mesures que je vais donner montreront la réduction qui a lieu dans la force électromotrice d'un élément zinc et cuivre, et dans celle d'un élément zinc et platine, en substituant au sel métallique de l'acide sulfurique étendu; l'altération, dans ce cas, est due à l'adhésion de l'hydrogène à la surface du métal négatif.

Amalgame de zinc, sulfate de cuivre, cuivre. . . .	30 tours.
Amalgame de zinc, acide sulfurique étendu, cuivre. .	20
Amalgame de zinc, chlorure de platine, platine . . .	40
Amalgame de zinc, acide sulfurique étendu, platine. .	27

6. La proportion du zinc dans l'amalgame liquide ne paraît point affecter la force électromotrice de l'élément voltaïque dont il fait partie; le nombre des tours du rhéostat reste le même, quoiqu'on fasse varier considérablement la quantité du zinc. Je fus donc conduit à penser que l'on pourrait obtenir des mesures assez exactes des forces électromotrices compara-

tives des métaux, des alcalis et des terres. Un élément fut formé d'un amalgame liquide de potassium, de sulfate de zinc et de zinc; la proportion du potassium au mercure était de moins de 2 pour 100 : il n'y eut point d'action locale apparente, et le courant fut remarquablement constant et continu.

Les forces électromotrices de différents éléments, dans lesquels le métal positif était un amalgame de potassium, et les métaux positifs, respectivement le zinc, le cuivre et le platine, furent constatés ainsi qu'il suit :

Amalgame de potassium, sulfate de zinc, zinc . . .	29 tours.
Amalgame de potassium, sulfate de cuivre, cuivre . .	59
Amalgame de potassium, chlorure de platine, platine.	69

La force électromotrice de la première combinaison se rapproche beaucoup de celle de la combinaison zinc et cuivre, et, lorsque la résistance du circuit est équivalente, cette force produit un courant qui a presque le même degré d'énergie.

La troisième combinaison possède une grande énergie électromotrice, et, lorsqu'on interpose dans le circuit un voltamètre muni d'électrodes minces, elle décompose l'eau fort abondamment.

Il ne serait pas difficile de soumettre à des expériences de ce genre tous les métaux des alcalis et des terres; les proportions de l'amalgame ne paraissant pas être d'une grande importance, on pourrait les préparer aisément au moyen d'une batterie voltaïque. Il serait intéressant de savoir quel rang le radical hypothétique de l'ammoniaque tiendrait dans cette échelle de forces électromotrices.

7. On peut obtenir une force électromotrice encore plus grande en employant, conjointement avec l'amalgame de potassium, une plaque de platine couverte d'une couche excessivement mince de peroxide de plomb [1]. On prépare aisément

[1] Une série rhéomotrice de 10 de ces éléments aura une force électromotrice égale à celle de 33 éléments de la batterie de Daniell, ou de

une plaque de ce genre, en en faisant l'électrode positif dans un appareil de décomposition, chargé d'une solution d'acétate de plomb. La couche ainsi formée offre, comme Nobili l'a montré, suivant les variations de son épaisseur, les couleurs des anneaux de Newton.

Amalgame de zinc, acide sulfuriq. étendu, peroxide de plomb. 68 tours.
Amalgame de potassium, ac. sulf. étendu, peroxide de plomb. 98 »

On obtient les mesures suivantes en substituant le peroxide de manganèse au peroxide de plomb. Le peroxide de manganèse avait été déposé sur une plaque de platine, qui formait l'électrode positif d'un appareil de décomposition contenant une solution de chloride de manganèse.

Amalgame de zinc, acide sulfur. étendu, peroxide de mangan. 54 tours.
Amalg. de potassium, acide sulf. étendu, peroxide de mangan. 84 »

On obtient un faible courant en employant une plaque de platine décapée, conjointement avec une autre couverte du peroxide, combinaison dans laquelle la première joue le rôle du zinc. Dans ce cas le métal positif n'éprouve aucune action chimique; mais du côté négatif le peroxide est réduit par l'hydrogène dégagé.

8. Les mesures suivantes prouvent d'une manière concluante, que si l'on prend trois métaux dans leur ordre électromoteur, la force électromotrice d'un élément voltaïque formé des deux métaux extrêmes est équivalente à la somme des forces électromotrices des deux éléments formés des métaux consécutifs.

50 d'une pile de Wollaston fonctionnant parfaitement. Des expériences sur les combinaisons voltaïques dans lesquelles le peroxide de plomb est substitué au métal négatif, ont été faites par les professeurs Schœnbein (*Phil. Mag.*, 3e série, t. XII, p. 225, mars 1838, et *Bibl. Univ.*, t. XV, année 1838, p. 168) et de la Rive (*Archives de l'Electricité*, n° VII, avril 1843, page 112).

Amalgame de potassium, sulfate de zinc, amalgame de zinc.	29 tours.
Amalgame de zinc, sulfate de cuivre, cuivre	30
Amalgame de potassium, sulfate de cuivre, cuivre	59

Amalgame de potassium, sulfate de zinc, amalgame de zinc.	29 tours.
Amalgame de zinc, chlorure de platine, platine	40
Amalgame de potassium, chlorure de platine, platine . . .	69

9. Je désirai comparer la force électromotrice d'un élément thermo-électrique, dont les deux étaient le bismuth et le cuivre, et dont les soudures opposées étaient exposées aux températures fixes de la glace fondante et de l'eau bouillante, à celle de l'élément voltaïque pris pour unité. Comme l'interposition du galvanomètre diminuait considérablement la force du courant dans le circuit thermo-électrique, de telle sorte que je ne pouvais pas faire avancer l'aiguille à 45 degrés, j'eus recours, dans ce cas particulier, à la déviation de l'aiguille de 10 à 5 degrés. Les rapports des mesures des forces électromotrices restent les mêmes, quels que soient les deux points entre lesquels on fait varier l'aiguille, pourvu qu'elles ne changent pas durant la même série d'expérience.

Élément thermo-électrique de bismuth et cuivre, la température des soudures étant 0 et 100 degrés	8 tours.
Élément voltaïque unité, d'amalgame de zinc, sulfate de cuivre et cuivre	757

Les forces électromotrices relatives sont donc comme 1 : 94,6[1].

§ XII. — La résistance ou longueur réduite d'un rhéomoteur peut être déterminée par l'un ou l'autre des procédés suivants :

Première méthode. — Placez le galvanomètre et le rhéostat dans le circuit, et réglez le dernier de façon que l'aiguille du galvanomètre s'arrête à un point déterminé. Divisez alors

[1] Mr. Pouillet, par un procédé bien différent, a constaté que ce rapport était comme 1 : 95. (Voyez *Eléments de Physique expérimentale*, 3e édition, t. I, p. 631.)

le courant qui traverse le fil métallique du galvanomètre, en plaçant à son côté une résistance égale : l'aiguille reculera. La longueur réduite, mesurée par le nombre de tours du rhéostat qu'il faudra retrancher du circuit pour ramener l'aiguille à son premier point, sera égale à la moitié de la résistance totale de la portion non divisée du premier circuit. La résistance du galvanomètre, des rhéophores et de la portion de fil enroulé du rhéostat qui se trouvait dans le circuit avant l'expérience, ayant été préalablement déterminée, on obtient aisément celle du rhéomoteur en retranchant la première de la résistance totale ainsi mesurée.

Soient E la force électromotrice, g la résistance du fil du galvanomètre, et R toutes les autres résistances du circuit. La force du courant agissant sur l'aiguille sera $F = \frac{E}{R+g}$; ajouter à côté du fil du galvanomètre un autre fil ayant la même résistance, c'est comme si on lui substituait un autre fil métallique d'une section double, et l'expression de la résistance du circuit devient $R + \frac{g}{2}$; mais puisque, par suite de la division du courant, il n'y a plus que la moitié de sa force qui agisse sur l'aiguille, cette action peut être représentée par $\frac{{}^1/_2 E}{R + {}^1/_2 g}$. Pour rendre cette expression équivalente à la première, il faut réduire de moitié la résistance R, car $\frac{E}{R+g} = \frac{{}^1/_2 E}{{}^1/_2 R + {}^1/_2 g}$. La résistance enlevée du circuit pour effectuer cette réduction est évidemment égale à la moitié de la résistance de la portion non divisée du circuit primitif, ou

$$\frac{E}{R+g} = \frac{{}^1/_2 E}{R + {}^1/_2 g - \lambda},$$

d'où

$$\lambda = \frac{R}{2}.$$

Deuxième méthode. — Amenez, au moyen du rhéostat, l'aiguille du galvanomètre à un point déterminé que nous appellerons b ; constatez la résistance r nécessaire pour ramener l'aiguille à un point antérieur a : ramenez-la en b ; alors placez un fil métallique qui se partage le courant avec le galvanomètre, et faites varier ce fil jusqu'à ce que l'aiguille arrive de nouveau en a. Lorsque l'aiguille est en b, $F = \frac{E}{R+g}$; lorsqu'elle est fixée sur a, dans le premier cas $F' = \frac{E}{R+g+r}$; dans le second cas, $F' = \frac{Er'}{R(g+r')+gr'}$. Egalant ces deux expressions,

$$\frac{E}{R+g+r} = \frac{Er'}{R(g+r')+gr'},$$

on en tire

$$R = \frac{rr'}{g};$$

et comme rr' et g sont connus, R s'obtient aussitôt, et on en déduit ensuite, comme tout à l'heure, la résistance du rhéomoteur.

Si $r' = g$, c'est-à-dire si la résistance du fil du galvanomètre est égale à celle du fil qui en détourne une portion du courant, alors $R = r$.

Troisième méthode. — Amenez l'aiguille à un point quelconque déterminé, et constatez, au moyen de l'instrument qui sera décrit § XVIII, quel degré correspond à la moitié de l'intensité ainsi indiquée. Puisque, lorsque la force électromotrice reste la même, la force du courant est inversement proportionnelle à la résistance totale, pour ramener l'aiguille de a à $\frac{a}{2}$, il faut ajouter une résistance exactement égale à celle qui existait auparavant dans le circuit ; ainsi donc le nombre de

tours du rhéostat nécessaire pour produire cet effet sera la mesure de la résistance totale du circuit, lorsque l'aiguille se tenait en a. La résistance totale ayant été ainsi mesurée, on obtient celle du rhéomoteur en en retranchant les autres résistances connues, y comprise celle du galvanomètre.

Plus généralement, si les forces a et b de deux courants correspondantes à deux positions stationnaires de l'aiguille sont connues, § XIX, la résistance totale du circuit sera $R = \frac{br}{a-b}$, r étant la résistance ajoutée pour réduire le courant de a à b. Si $a = 2b$, alors $R = r$ comme auparavant.

Quatrième méthode. — Dans le procédé que nous allons décrire et le suivant, on doit employer deux rhéomoteurs exactement égaux; on peut s'assurer de leur égalité de force en les interposant successivement dans le même circuit, où l'un et l'autre devront dévier l'aiguille précisément au même degré.

Placez un des rhéomoteurs dans le circuit, et réglez le rhéostat de manière que l'aiguille indique un degré quelconque choisi arbitrairement; ajoutez alors le second élément à côté du premier, et augmentez la longueur réduite du circuit, en tournant le rhéostat, jusqu'à ce que l'aiguille soit ramenée sur la même division. La quantité connue, mesurée par le nombre des tours du rhéostat, dont la longueur réduite du circuit a été augmentée, est égale à la moitié de la résistance d'un seul rhéomoteur. En effet, en plaçant le second rhéomoteur à côté du premier, la résistance de cette portion du circuit est réduite de moitié; donc, pour rétablir la condition première du circuit, on doit ajouter une résistance égale à la moitié de celle du rhéomoteur. Autrement

$$\frac{E}{R+r} = \frac{E}{\frac{R}{2}+r+\lambda},$$

d'où

$$\lambda = \frac{R}{2},$$

R étant la résistance du rhéomoteur, et r représentant les autres résistances du premier circuit.

Cinquième méthode.—Placez les deux rhéomoteurs en série, et faites varier la résistance jusqu'à ce que l'aiguille s'arrête sur une division choisie à volonté ; placez-les alors à côté l'un de l'autre et augmentez la résistance, en tournant le rhéostat, jusqu'à ce que l'aiguille soit ramenée à son premier point. La résistance d'un seul rhéomoteur égale deux fois la résistance qu'il a fallu ajouter, plus toutes les résistances du premier circuit, excepté celle du rhéomoteur,

$$\frac{2E}{2R + r} = \frac{E}{\frac{R}{2} + r + \lambda},$$

d'où

$$R = r + 2\lambda,$$

R étant la résistance du rhéomoteur, r les autres résistances du premier circuit, et λ la résistance ajoutée, au moyen du rhéostat, pour rendre la force du courant, dans le second circuit, égale à celle qu'il avait dans le premier.

J'ai trouvé que la résistance d'un des éléments de la batterie, décrite § V, était égale à 2128 fois l'unité choisie pour terme de comparaison.

§ XIII. — La résistance d'un rhéomoteur pris pour terme de comparaison, ayant été soigneusement déterminée par l'un ou l'autre des procédés que je viens de décrire, la résistance de tout autre rhéomoteur possédant la même force électromotrice peut s'obtenir par une méthode encore plus expéditive. Ayant amené l'aiguille à un point déterminé lorsque le rhéomoteur pris pour terme de comparaison se trouve dans le cir-

cuit, si on retire ce rhéomoteur et qu'on le remplace par celui qui doit être mesuré, le nombre des tours du rhéostat qu'il faudra ajouter au circuit ou en retrancher, pour ramener la force du courant dans ce second cas à ce qu'elle était dans le premier, étant ajouté à la résistance du rhéomoteur unité ou en étant retranché, donnera celle du rhéomoteur à mesurer. Si R' est plus grand que R, $R' = R + r$; s'il est plus petit, $R' = R - r$. Par ce simple procédé, on pourra aisément comparer les résistances d'éléments voltaïques de différentes formes, grandeurs, etc.

§ XIV. — *Instrument pour mesurer la résistance des liquides.* — Nous ne possédons maintenant aucune mesure exacte des conductibilités des liquides, et l'on n'a même encore dressé aucune table qui les représentât dans l'ordre réel de leurs pouvoirs conducteurs. Dans les expériences faites jusqu'à ce jour, et ayant cet objet en vue, on n'a nullement fait entrer en considération la force électromotrice contraire qui s'établit généralement toutes les fois que le courant traverse un liquide susceptible d'éprouver une décomposition (§ XI, 4), d'où il suit que les résultats obtenus s'écartent grandement de la vérité. A l'aide de l'instrument fort simple, représenté *fig.* 4, je me suis trouvé en état de faire disparaître complétement cette source d'erreur, et d'obtenir des résultats parfaitement constants. *A* est un tube de verre d'environ 2 pouces anglais de long, et de $^1/_2$ pouce de diamètre intérieur; une portion du tube a été enlevée sur 1 $^1/_4$ pouce de sa longueur, de manière à laisser un segment de 270 degrés; à l'une des extrémités de cette ouverture, est fixé un bouchon de métal terminé par une plaque de platine, et, à l'autre bout, se trouve un piston mobile terminé aussi par une plaque de platine, et pouvant avancer jusqu'à $^1/_4$ de pouce de la plaque fixe; l'étendue de sa course est ainsi limitée à 1 pouce, et l'on y adapte un appareil micrométrique, afin de mesurer exactement une portion quelconque de cet intervalle. Pour obtenir la mesure

de la résistance d'un liquide, je procède de la manière suivante : J'interpose dans le circuit une petite batterie constante, composée d'environ 3 éléments, avec le rhéostat, les bobines de résistance, le galvanomètre, et le tube servant à mesurer, que je viens de décrire. Le bout du piston se trouvant à $^1/_4$ de pouce de la plaque fixe, je remplis l'espace, entre les deux plaques, du liquide dont je veux mesurer la résistance. J'ajuste ensuite le rhéostat de manière à amener l'aiguille du galvanomètre sur un point déterminé ; ayant noté ce point, je recule le piston de manière qu'il laisse libre tout l'espace restant de 1 pouce, et je remplis le vide, ainsi formé, du même liquide : l'aiguille reculera vers zéro. Je diminue alors la résistance du circuit au moyen du rhéostat et des bobines de résistance, jusqu'à ce que l'aiguille s'arrête au point où elle se trouvait lorsqu'il n'y avait d'interposé que $^1/_4$ de pouce de la colonne liquide. La longueur réduite du fil métallique, ainsi retirée du circuit, sera la mesure de la résistance de 1 pouce du liquide. La force électromotrice contraire, à laquelle donne naissance la décomposition du liquide, existe dans le circuit pendant tout le temps de l'expérience, et, par conséquent, n'affecte pas le résultat.

La mesure de la résistance d'un liquide doit être prise aussitôt qu'il est placé dans le circuit, parce que, si on laisse le courant agir sur lui pendant un temps quelconque, la nature de la solution change. Dans le cas de l'acide sulfurique, par exemple, la solution est rendue plus forte par la décomposition et la diminution, par conséquent, de l'eau ; tandis que dans le cas d'un sel métallique, non-seulement l'eau est décomposée, mais le métal est réduit, et l'acide libre dégagé. Néanmoins, dans les conditions de mes expériences, l'action chimique est si lente, et le temps de l'opération si court, qu'il n'y a lieu à aucun changement sensible de ce genre.

La résistance des liquides à la transmission de l'électricité est, sans aucun doute, une de leurs propriétés physiques les

plus importantes. La recherche de toutes les circonstances qui apportent des modifications à cette propriété, surtout si elle est accompagnée de déterminations numériques exactes, devra nécessairement conduire à la découverte de relations importantes, et jusqu'à présent inaperçues. La recherche seule des changements dus aux différents degrés de concentration et de température, sera un travail qui exigera une très-grande patience. J'ai constaté, à l'aide du procédé précédent, plusieurs mesures des résistances spécifiques de différents liquides conducteurs; mais comme elles n'ont point été assez nombreuses pour qu'on puisse en tirer aucune conclusion générale, et que je suis en ce moment engagé dans une série plus étendue d'expériences dans lesquelles sera apportée la plus stricte attention à toutes les circonstances influentes connues, j'en remettrai l'exposé à une autre occasion.

Les corps présentant des différences si grandes dans leurs résistances spécifiques, et les moyens de déterminer cette propriété étant si faciles, on ne peut douter que dans la suite ce procédé ne soit très-généralement employé pour découvrir la pureté des substances et les distinguer les unes des autres.

On peut encore mesurer la résistance d'un liquide conducteur par la méthode suivante. Disposez un circuit dont la force électromotrice et la résistance soient connues, $\frac{E}{R} = F$; interposez le liquide qui doit être le sujet de l'expérience, dans une capsule munie de deux électrodes parallèles de platine : l'expression correspondante à ce circuit sera alors $\frac{E-e}{R+x} = F'$, e étant la force électromotrice contraire, et x la résistance du liquide qui doit être déterminée. Ayant constaté la valeur de e par le procédé décrit § X, retranchez du circuit, au moyen du rhéostat et des bobines, une résistance suffisante pour ramener de nouveau la force du courant à être égale à F : l'expres-

sion deviendra alors $\frac{E - e}{R + x - \lambda} = \frac{E}{R}$, d'où $x = \lambda - \frac{e}{E} R$. Ainsi donc la résistance x du liquide égale la résistance λ retranchée du circuit par le rhéostat, moins la résistance du premier circuit, multipliée par le rapport $\frac{e}{E}$.

§ XV. — Lorsqu'on fait usage d'un galvanomètre pour mesurer la force d'un courant, son fil métallique fait ordinairement partie du circuit ; mais il est impossible, de cette manière, d'employer le même galvanomètre pour mesurer la force du courant dans des circuits de différente espèce. Un galvanomètre, avec de nombreuses circonvolutions d'un fil mince, ajoute une résistance très-considérable à un circuit dans lequel la force électromotrice est considérable, et la résistance faible ; tandis que, d'un autre côté, un galvanomètre, avec un fil métallique court et gros, ne donnera guère aucune indication dans un circuit où la résistance est très-grande, quoique la force électromotrice soit considérable. En outre, un galvanomètre très-sensible est incapable d'indiquer des forces énergiques.

Mais, par le moyen simple que je vais décrire, on peut faire usage de ce même galvanomètre sensible, pour mesurer des forces d'un degré quelconque d'énergie, et dans toute espèce de circuits, sans y introduire aucune résistance incommode.

Si l'on fait passer le courant simultanément par deux routes, dont l'une est le fil même du galvanomètre, et l'autre un autre fil métallique réunissant ses deux extrémités, le courant se partagera dans le rapport inverse des résistances des deux routes qui lui sont offertes. On peut donc réduire, autant qu'on le voudra, l'action sur l'aiguille du galvanomètre, en employant différents fils métalliques pour dériver une portion du courant ; si les forces proportionnelles sont connues pour le galvanomètre non accompagné du fil de dérivation, elles demeureront également proportionnelles quelle que soit la résistance du der-

nier ; mais des mesures prises avec le même instrument, en se servant de fils de dérivation différents, ne seront pas comparables, à moins que l'on ne tienne compte du changement advenu dans la résistance du galvanomètre.

Mais on obtiendra des mesures strictement comparables si l'on a la précaution d'ajouter, à la portion principale du circuit, une résistance qui compense la diminution de résistance occasionnée par l'adjonction du fil de dérivation. Soient g la longueur réduite du fil du galvanomètre, et $n\,g$ celle du fil de dérivation. La force du courant dans la portion principale du circuit sera, à celle qu'il possède dans le fil du galvanomètre, comme $1 : \frac{n}{n+1}$. La résistance qu'il est nécessaire d'ajouter à la portion principale du circuit, pour maintenir le courant dans le même état que lorsqu'on n'ajoute pas de fil de dérivation, est $\frac{g}{n+1}$.

Lorsqu'on se propose de déterminer les mesures de courants énergiques au moyen d'un galvanomètre très-sensible, il suffit d'attacher ses deux extrémités à deux points du fil conducteur[1]. La distance entre ces deux points doit rester la même dans toutes les expériences dont on veut comparer les résultats; mais les déviations absolues de l'aiguille seront d'autant plus grandes que ces points seront plus écartés l'un de l'autre. Dans le cas d'un circuit d'une machine électro-magnétique puis-

[1] Le professeur Petrina de Linz a proposé (*Poggendorff's Annalen*, t. LXII, 1842, n° 9) un moyen semblable de mesurer et comparer des courants électriques d'un degré de force quelconque. Il interpose dans le circuit un canal rempli de mercure, dont la section a 4 lignes carrées, et y plonge à différentes distances l'une de l'autre les extrémités du fil d'un galvanomètre très-sensible. Il montre que si la résistance dans le fil du galvanomètre est très-considérable, et que celle du mercure du canal soit faible en comparaison, la force qui agit sur l'aiguille du galvanomètre sera sensiblement proportionnelle à la distance entre les deux extrémités du fil, et il a fondé sur ce principe une méthode approximative facile de graduer le galvanomètre.

sante, ou d'un appareil galvanoplastique, la diminution de résistance, occasionnée en mettant en communication le fil du galvanomètre, de la manière que je viens d'indiquer, est si peu de chose, qu'il serait inutile d'en tenir compte, et la compensation dont j'ai parlé plus haut cesse par conséquent d'être nécessaire.

§ XVI. — *Appareil différentiel pour la mesure de la résistance.* — La méthode décrite § IX, de déterminer au moyen du rhéostat la résistance des fils de métal et des autres conducteurs de l'électricité, est inapplicable lorsqu'il s'agit d'observer de petites différences. Si, par exemple, on veut soumettre à l'examen une petite longueur de fil, sa résistance est si faible, comparée aux autres résistances du circuit, y comprise celle de la batterie, que, soit qu'on l'interpose ou non, il est impossible d'apercevoir aucun changement dans la déviation de l'aiguille; et lors même qu'on opérerait sur des longueurs plus considérables de la substance conductrice, des fluctuations dans la puissance de la batterie rendent souvent l'observation incertaine.

Le galvanomètre différentiel proposé par Mr. Becquerel, si cet instrument eût été aussi parfait dans la pratique que dans la théorie, nous eût mis à même de constater de très-faibles différences de résistance avec une grande facilité. Mais il est presque impossible de disposer les deux fils enroulés, de manière que les courants d'égale énergie produisent, en les parcourant, des déviations égales de l'aiguille dans des directions opposées, d'où il suit que le repos de l'aiguille à zéro n'est nullement une indication d'égalité dans les courants. Ce défaut et quelques autres ont empêché que le galvanomètre différentiel ne fût adopté.

Cependant tous les avantages qu'on se promettait de cet instrument peuvent être obtenus sans aucun des défauts qui l'accompagnent, au moyen de l'appareil simple que je vais décrire, et qui, de plus, a l'avantage de pouvoir s'adapter sur-le-champ

à toute espèce de galvanomètre, au lieu d'exiger, comme dans le premier cas, une construction particulière de cet instrument.

La *fig.* 5 représente une planche sur laquelle sont placés quatre fils de cuivre, Zb, Za, Ca, Cb, dont les extrémités sont fixées à des vis de jonction. Les vis Z, C, sont destinées à recevoir des fils métalliques partant des deux pôles d'un rhéomoteur, et celles marquées a, b à saisir les extrémités du fil d'un galvanomètre. Par cette disposition, de chaque pôle du rhéomoteur partent deux fils qui se rendent, l'un, à une extrémité du fil du galvanomètre, l'autre, à l'autre extrémité; et si les quatre fils sont de longueurs et d'épaisseurs égales, et de la même substance, il s'établit un équilibre parfait; de sorte qu'un rhéomoteur, quelque puissant qu'il soit, ne produit pas la moindre déviation sur l'aiguille du galvanomètre qui demeure stationnaire à zéro. Les circuits $ZbaCZ$ et $ZabCZ$ sont, dans ce cas, exactement égaux; mais comme les deux courants tendent à traverser le galvanomètre, qui fait partie du circuit, dans des directions opposées, il n'y a aucun effet produit sur l'aiguille. Cependant, en $ZbCZ$ et $ZaCZ$ se trouvent établis des courants qui suivraient la route qui leur est ainsi tracée, si l'on retirait entièrement le galvanomètre. Mais si l'on interpose une résistance dans l'un ou l'autre des quatre fils, l'équilibre du galvanomètre sera troublé; si elle est insérée en Zb ou Ca, le courant $ZabCZ$ sera prépondérant; si on l'insère en Za ou Cb, le courant $ZbaCZ$ se trouvera le plus énergique. Si la résistance interposée dans le fil est infinie, ou, ce qui est la même chose, si ce fil (que nous supposerons être Cb) est supprimé, l'énergie du courant traversant le galvanomètre sera celle d'un courant partiel Zba traversant l'un des fils de l'appareil du galvanomètre, la route suivie par la portion dérivée du courant étant Za. D'après cette disposition, la force du courant primitif $= \frac{E}{R + 2r + g}$, et celle du courant partiel agissant sur le galvanomètre

$= \frac{Er}{R(3r+g)+2r^2+rg}$; *R* étant la résistance du rhéomoteur, *r* celle de l'un des quatre fils, et *g* celle du galvanomètre.

L'équilibre ayant été troublé par l'introduction d'une résistance dans l'un des fils, on peut le rétablir en plaçant une résistance égale dans l'un ou l'autre des fils adjacents. Pour que l'on puisse introduire la résistance qu'on se propose de mesurer, et celle qui doit en donner la mesure, les fils *Z b* et *C b* sont interrompus, et des vis de jonction, *c d* et *e f*, sont fixées pour recevoir les extrémités des fils. L'équilibre, lorsqu'il est une fois établi, ne saurait être aucunement affecté par des fluctuations dans l'énergie du rhéomoteur.

La *fig.* 6 représente un arrangement des fils pour produire le même effet, différent et, sous quelques rapports, plus commode; on y a conservé les mêmes lettres de renvoi, et les observations précédentes s'y appliquent également.

De légères différences dans les longueurs et même dans les tensions des fils suffisent pour troubler l'équilibre; il est donc nécessaire d'avoir un moyen d'ajustement par lequel, lorsque deux fils exactement égaux sont placés en *C a* et *Z a*, l'équilibre puisse être parfaitement établi. Pour remplir ce but, dans l'instrument, *fig.* 6, une pièce de métal *n*, liée à la vis de jonction *b*, est incrustée dans la table, et une autre pièce de métal *m* se meut autour d'un centre fixé sur *n*, tandis que son extrémité libre repose toujours sur le fil. A mesure que la pièce mobile de métal fait un angle plus grand avec la pièce fixe, la résistance du trajet *Z b* est diminuée; si cependant l'équilibre était troublé par une trop grande résistance dans *C b*, il faudrait placer la pièce mobile de métal du côté opposé de la pièce fixe.

On ne peut assigner des dimensions fixes à ces instruments. Les tablettes de ceux que j'emploie ont 14 pouces anglais de long et 4 de large; le fil est de cuivre et de $^1/_{10}$ de pouce de

diamètre. Un seul élément voltaïque d'une grande surface produira un effet plus considérable qu'une batterie de petits éléments [1]. On peut substituer à l'élément ou à la batterie voltaïque un appareil thermo-électrique ou une machine électro-magnétique, et un voltamètre ou toute autre espèce de rhéomètre peut, dans quelques cas, tenir lieu du galvanomètre. Il est à peine nécessaire de dire que ces instruments ne sont point propres à mesurer les résistances de substances susceptibles d'éprouver des modifications chimiques sous l'action d'un courant électrique, en raison des forces électromotrices contraires qui se manifestent dans de telles circonstances.

§ XVII. — Il est peut-être bon de mentionner un autre appareil différentiel que l'on trouvera utile dans quelques circonstances. Il est beaucoup plus sensible que les précédents; mais comme l'équilibre indiqué existe, non entre des portions dérivées du même courant, comme dans les instruments que nous venons de décrire, mais entre deux courants engendrés par des rhéomoteurs indépendants, l'état d'équilibre sera troublé à chaque fluctuation ou de la force électromotrice, ou de la résistance de l'un ou l'autre des rhéomoteurs; il ne peut donc être employé que lorsque ces derniers sont parfaitement constants ou lorsqu'on se propose, non pas de mesurer des résistances, mais d'observer les changements comparatifs éprouvés par deux rhéomoteurs.

La *fig.* 7 représente une planche circulaire sur laquelle sont fixées dix vis de jonction; les rhéophores de l'un des rhéomoteurs doivent s'attacher en C_1 et Z_1; ceux de l'autre, en C_2 et Z_2, et les extrémités du galvanomètre doivent

[1] Lorsqu'on emploie un seul élément de la batterie de Daniell de 6 pouces anglais de haut et de 3 1/2 de diamètre, et que l'on interpose dans l'instrument deux fils de cuivre de 2 pieds anglais de long et de 1/40 de pouce de diamètre, une augmentation de 1/10 de pouce dans l'un occasionne une déviation de 2 degrés dans l'aiguille du galvanomètre. Cet exemple suffira pour montrer avec quelle exactitude les résistances peuvent être mesurées par cet instrument.

être fixées en *a* et *b*. Les deux courants $C_1\ a\ b\ Z_1$ et $Z_2\ a\ b\ C_2$ tendent à traverser le fil du galvanomètre dans des directions opposées. Lorsque deux fils métalliques égaux sont interposés entre ef et $e'f'$, si les courants opposés sont égaux, un équilibre parfait s'établit dans le fil du galvanomètre, et l'aiguille reste à zéro. Mais si la force du courant dans l'un ou l'autre des rhéomoteurs varie, ou si, la force des deux rhéomoteurs restant constante, la plus légère différence vient à exister dans la résistance de l'un ou l'autre des fils interposés entre ef et $e'f'$, l'équilibre dans le fil du galvanomètre est troublé et l'aiguille éprouve une déviation.

§ XVIII. — Si nous avions un moyen sûr et commode de déterminer quel degré de l'échelle galvanométrique indiquerait la moitié de l'intensité correspondante à tout autre degré donné, nos recherches numériques se trouveraient grandement facilitées. Les propriétés des courants dérivés, déduites de la théorie de Ohm et pleinement confirmées par l'expérience, me mettent en état de proposer une méthode simple au moyen de laquelle ce but peut être complétement atteint.

Si un fil de la même longueur, du même diamètre et de la même conductibilité que celui du galvanomètre est placé de manière à en dériver une portion du courant, il est évident qu'une moitié de ce même courant passera par le fil du galvanomètre, et l'autre moitié par le fil de dérivation. Quoique les considérations se trouvent simplifiées en supposant que le fil ainsi ajouté ait exactement les mêmes dimensions et le même pouvoir conducteur que celui du galvanomètre, il est aisé de voir que le même résultat aurait lieu si les deux fils offraient la même résistance, ce qui existe toujours lorsque $s'c'l = scl'$. Si le fil ajouté ne produisait aucune altération dans l'intensité du courant principal, une moitié de l'ancienne force agirait sur l'aiguille du galvanomètre ; mais il n'en est point ainsi ; l'addition de ce fil produit le même effet que si l'on eût doublé la section du fil du galvanomètre, et la rési-

stance totale du circuit se trouve, en conséquence, diminuée. Si la force du courant primitif, lorsqu'il traverse tout entier le fil du galvanomètre, égale $\frac{E}{R+r}$ (r étant la résistance du fil du galvanomètre, et R toutes les autres résistances du circuit), $\frac{E}{R+\frac{r}{2}}$ sera la force du courant principal lorsqu'on aura ajouté le fil de dérivation. Si maintenant on ajoute à la portion principale du circuit une résistance $=\frac{r}{2}$, c'est-à-dire un fil dont la résistance soit égale à la moitié de celle du fil du galvanomètre, l'intensité sera de nouveau $\frac{E}{R+\frac{r}{2}+\frac{r}{2}}$, et la force agissant sur le galvanomètre exactement moitié de ce qu'elle était auparavant.

On comprendra maintenant aisément la construction et l'usage de l'instrument représenté *fig.* 8. *A* est un morceau de bois carré ayant deux plaques de laiton isolées *D*, *M* incrustées sur sa surface, sur lesquelles sont fixées les vis de jonction *C*, *Z* et *a*; *B* est un cercle aussi de bois, mobile autour de son centre. Sur ce cercle mobile sont fixés la plaque isolée de laiton *F*, portant la vis de jonction *b*, et les trois ressorts *G*, *H*, *I* dont les extrémités libres pressent contre la planche *A*. Un fil métallique enroulé *K*, dont la résistance, mesurée par le procédé décrit § XVI, est équivalente à celle du fil du galvanomètre, est uni par ses deux extrémités à la plaque de laiton *F* et au ressort *G*; et un autre fil enroulé *L*, dont la résistance est moitié de celle du précédent, est semblablement interposé entre la plaque de laiton et le ressort *H*. Un fil court met en communication la plaque *F* et le ressort *I*. *E* est un bouton au moyen duquel on communique un mouve-

ment de rotation, suivant un arc peu étendu, au cercle mobile qui le porte.

Les fils conducteurs partant des pôles d'un rhéomoteur étant saisis par les vis de jonction *C*, *Z*, et les extrémités des fils du galvanomètre attachées aux vis *a* et *b* dans la position de l'instrument représentée dans la figure ; les ressorts *G* et *H* pressant respectivement sur les plaques de laiton isolées *D* et *M*, la principale portion du courant traverse le fil de résistance enroulé *L*, et le courant se partage ensuite également entre le fil du galvanomètre et le fil enroulé *K*. Mais lorsqu'on fait mouvoir le cercle dans la direction de la flèche, les ressorts *G*, *H* abandonnent les plaques de laiton et posent sur le bois, tandis que le ressort *I* est amené en contact avec la plaque *M*; les deux fils enroulés cessent de faire partie du circuit, et le courant passe en entier à travers le fil du galvanomètre.

Il est à peu près inutile de faire observer que cet instrument ne peut être employé qu'avec le galvanomètre pour lequel les fils enroulés *K* et *L* ont été ajustés.

Dans quelques cas, lorsqu'une expérience a été faite avec un courant d'un certain degré d'intensité, il est nécessaire de la répéter avec des courants d'autres degrés de force, dont les rapports au premier courant aient été exactement déterminés. L'instrument que je viens de décrire fournit un moyen facile d'effectuer cette détermination. On peut ainsi constater si la force électromotrice dans une combinaison particulière quelconque varie ou demeure constante lorsque l'énergie du courant est modifiée.

§ XIX. — *Procédé pour déterminer les degrés de déviation de l'aiguille d'un galvanomètre correspondant aux divers degrés de force, et réciproquement.* — Lorsque la force électromotrice du circuit reste constante, la force du courant est inversement proportionnelle à la résistance ou longueur réduite du circuit. Si donc on détermine la résistance totale du circuit lorsque l'aiguille est sur 1 degré, et qu'ensuite, au moyen du

rhéostat et des bobines de résistance, la résistance soit successivement réduite à $^1/_2$ $^1/_3$ $^1/_4$ $^1/_5$ etc., les forces correspondantes du courant seront 2, 3, 4, 5, etc. Réciproquement, si l'on détermine successivement les longueurs réduites a, b, c, d, etc., qu'il est nécessaire de retrancher du circuit pour faire avancer l'aiguille de chaque degré à celui qui le suit immédiatement, les forces correspondantes à ces degrés successifs seront

$$\frac{1}{R}, \frac{1}{R-a}, \frac{1}{R-(a+b)}, \frac{1}{R-(a+b+c)}, \text{ etc.}$$

Par les procédés ci-dessus, les relations entre les degrés de force et ceux de l'échelle galvanométrique peuvent se déterminer d'une manière beaucoup plus expéditive que par aucune des méthodes ingénieuses de Nobili, Becquerel et Melloni. Si nous considérons les modifications que peuvent apporter dans l'aiguille d'un galvanomètre sensible, surtout si elle est astatique, l'influence de courants énergiques, le voisinage des aimants et, à un degré moindre, les changements de température et les variations dans l'intensité du magnétisme de la terre, nous ne saurions nous dispenser d'apprécier convenablement l'importance de posséder un moyen facile de regraduer l'instrument.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE MÉMOIRE DE M. WHEATSTONE, par Mr. le Prof. DE LA RIVE.

Dans un article intitulé : *Quelques notes sur l'état actuel de l'étude de l'électricité en Angleterre*, qui a paru dans le nº 9 des Archives (juillet 1843), j'exprimais le désir que Mr Wheatstone fît connaître les procédés aussi ingénieux que délicats

qu'il a imaginés pour mesurer les forces voltaïques. Ayant dû à la complaisance de Mr. Wheatstone de voir fonctionner les appareils au moyen desquels il a mis en pratique ses procédés, et d'être témoin des expériences et des recherches qu'il a faites avec ces appareils, je regrettais de ne pouvoir les faire connaître, et je souhaitais vivement que l'auteur ne tardât pas à en publier lui-même la description. C'est ce que Mr. Wheatstone a fait dans le Mémoire intéressant sur lequel nous nous permettons de présenter quelques observations.

Les procédés de Mr. Wheatstone sont fondés sur le principe de la loi dite de Ohm, loi qui consiste à exprimer l'intensité d'un courant au moyen d'une formule très-simple, savoir que cette intensité est proportionnelle à la force électromotrice et inverse de la résistance du circuit. Or Mr. Wheatstone juge des rapports des forces électromotrices par les rapports qu'il faut établir entre les résistances pour rendre les effets de ces forces, c'est-à-dire les intensités des courants, parfaitement égales. Cette idée a souvent été émise, et de plus bien des physiciens l'ont déjà réalisée, ainsi que les lecteurs des Archives auront pu précédemment s'en apercevoir. Mais elle ne nous paraît pas jusqu'ici avoir été mise en pratique d'une manière plus heureuse qu'elle ne l'a été par Mr. Wheatstone : nous croyons que les appareils dont il a enrichi cette partie de la science, sont destinés à rendre les plus grands services à l'étude approfondie de l'électricité.

Mr. Wheatstone ne se prononce pas, à l'occasion de ses recherches, sur la théorie du contact, et par conséquent sur la théorie chimique ; il donne même de la force électromotrice une définition que les partisans de l'une et l'autre théorie peuvent également adopter, car elle n'implique pas plus l'adoption de l'une que de l'autre. Par *force électromotrice,* on entend, dit-il, *la cause qui dans un circuit donne naissance, lorsqu'il est fermé, à un courant électrique, et lorsqu'il ne l'est pas, à une tension électroscopique*. La question est de

savoir quelle est la cause qui détermine cette force électromotrice; est-ce le contact des deux parties hétérogènes? est-ce la combinaison chimique d'un des éléments du couple avec l'oxigène ou avec le corps quelconque qui a de l'affinité pour lui? Or parmi les expériences de Mr. Wheatstone, il en est une, ou plutôt une série, qui me paraît pouvoir jeter du jour sur la solution de cette question; il s'agit des expériences faites avec des couples dont l'un des éléments est un amalgame, et l'autre un métal tel que le cuivre ou le platine.

L'auteur trouve, par exemple, que l'amalgame de potassium avec sulfate de cuivre et cuivre forme un couple dont la force électromotrice est plus grande, le double exactement, de la force électromotrice qui résulte d'un couple amalgame de zinc, sulfate de cuivre et cuivre. Dans la théorie du contact, il faut en conclure que le contact du cuivre et de l'amalgame de potassium produit une force électromotrice double de celle que produit le contact du cuivre et de l'amalgame de zinc. Dans la théorie chimique, il faut admettre que l'oxidation d'un équivalent de potassium produit un courant, qui peut surmonter une résistance double de celle que peut surmonter l'oxidation d'un équivalent de zinc; tellement qu'un couple cuivre et amalgame de potassium peut produire le même effet que deux couples en série formés de cuivre et d'amalgame de zinc. Or voici le fait qui est à l'appui de cette dernière manière de voir.

Mr. W. observe que, quelle que soit la proportion de zinc ou de potassium dont est formé l'amalgame qui est liquide, la force électromotrice du couple qu'on forme avec l'un ou l'autre de ces amalgames ne change pas. Cela ne peut pas être dans la théorie du contact, car l'amalgame de zinc ou de potassium doit être d'autant plus positif qu'il renferme une plus forte proportion de l'un ou de l'autre de ces deux métaux. Dans la théorie chimique c'est la résistance du circuit qui, lorsque le courant est constant et qu'il n'y a point d'action

locale, détermine la quantité du métal oxidable qui se combine dans un temps donné ; cette quantité ne dépendra donc pas de la proportion plus ou moins grande de potassium ou de zinc qui est dans l'amalgame ; elle sera toujours la même, et par conséquent le courant ne variera pas d'intensité. Seulement il cessera plus vite s'il y a peu de potassium ou de zinc dans le mercure ; il durera plus longtemps s'il y en a beaucoup. Il en est de ce cas comme de ce qui arrive quand on fait un couple avec une plaque de zinc mince, au lieu de le faire avec une plaque de zinc épaisse, tous les autres éléments qui constituent le couple restant les mêmes ; le zinc est plus vite consommé, et par conséquent le courant dure moins longtemps dans le premier cas que dans le second.

Il résulterait de cette manière d'expliquer l'expérience de Mr. Wheatstone, un principe que pour ma part j'ai admis dès longtemps, c'est que l'oxidation d'un équivalent d'un métal ne produit pas un courant d'une intensité égale à celle que produit l'oxidation d'un équivalent d'un autre métal. J'ai déjà émis cette opinion en 1835, dans une lettre adressée à Mr. Arago (*Annales de Chimie et de Physique*, tome LXI, page 38). Je disais : *toutes les fois qu'il y a combinaison chimique entre deux qtomes, il y a développement d'un courant électrique dont l'intensité dépend de la nature relative des deux atomes. Toutes les fois qu'il y a décomposition chimique et par conséquent séparation de deux atomes, il y a aussi production d'un courant électrique de même intensité que celui qui résulte de la combinaison chimique des deux mêmes atomes, mais ce courant est dirigé en sens contraire. L'intensité des courants développés dans les combinaisons et dans les décompositions est exactement proportionnelle au degré d'affinité qui règne entre les atomes dont la combinaison ou la séparation a donné naissance à ces courants.* Je distinguais avec soin l'intensité du courant de la quantité d'électricité produite dans un temps donné par une certaine action

chimique. Ainsi, si l'on admet que l'oxidation d'un équivalent de zinc, d'un équivalent de potassium, ou de tout autre métal, produit la même quantité totale d'électricité, on ne peut contester que l'oxidation d'un équivalent de zinc, celle d'un équivalent de potassium ou de tout autre métal, en ayant lieu avec la même vitesse, produise des courants dont les effets seront bien différents.

Il s'élève ici une question délicate que nous nous bornerons à indiquer, d'autant plus que l'expérience seule peut la résoudre. Cette question est de savoir si on a bien fait de prendre pour expression de la quantité d'électricité produite, la quantité d'action chimique qui produit cette électricité, ou qui résulte de sa production. Il nous semble qu'il y a presque ici un cercle vicieux. Ainsi comment veut-on que l'oxidation d'un équivalent de zinc, d'un équivalent de potassium, d'un équivalent de tout autre métal, ne produise pas en s'oxidant la même quantité d'hydrogène? Il est impossible que cela ne soit pas; mais il n'en résulte pas nécessairement que le courant que produit toute action chimique équivalente, soit de même force, quelle que soit la nature particulière de cette action.

Nous signalons encore, en terminant ces courtes observations, deux points qui nous paraissent particulièrement intéressants.

Le premier est relatif à l'emploi de l'appareil que Mr. Wheatstone désigne sous le nom de *rhéostat*, pour obtenir un courant de force parfaitement constante dans certaines opérations d'art où cette constance est nécessaire. Le couple le plus parfait ne peut jamais être longtemps d'une force complétement constante; il importe donc de parer à cet inconvénient, et c'est ce qu'on fait en diminuant ou en augmentant, au moyen du rhéostat, la résistance que le courant de ce couple rencontre, de façon que cette variation dans la résistance compense exactement celle qu'éprouve la puissance du couple.

Le second point a pour objet la détermination du courant inverse auquel donnent naissance, par l'effet de la polarisation,

les lames de platine d'un voltamètre placé dans le circuit. Mr. Wheatstone s'est assuré au moyen du rhéostat que, par un même voltamètre chargé avec la même solution acide, ce courant est constant et est indépendant de la force de la batterie voltaïque dans le circuit de laquelle le voltamètre est placé. Ce courant, qui provient de la polarité secondaire des électrodes du voltamètre, est donc une quantité constante, qu'il faut retrancher de l'expression qui donne la force du courant d'une batterie voltaïque d'un nombre quelconque de couples; ou ce qui revient au même, l'augmentation de résistance qui résulte de l'interposition de ce voltamètre dans un circuit quelconque, est toujours la même, et représentée par la même longueur de fil, quel que soit ce circuit. Ce fait est une preuve de plus à ajouter à celles qu'on a déjà, que le courant que développe la polarisation secondaire des lames de platine d'un voltamètre, est dû au dépôt que détermine sur ces lames le courant voltaïque qui décompose le liquide dans lequel elles plongent. Ce dépôt s'opère plus ou moins vite, suivant la force du courant; mais une fois qu'il a eu lieu, il donne naissance à un courant d'égale intensité, quelle que soit l'énergie de la cause qui l'a produit.

EXPÉRIENCES SUR LA RÉACTION VOLTAÏQUE, par W.-R. GROVE. (*Lond. and Edinb. Phil. Mag.*, décembre 1843.)

En mars 1840 je communiquai, dans l'une des séances de l'Institution Royale, quelques expériences et observations sur divers phénomènes que je réunis ensemble sous le nom général de réaction voltaïque. Je démontrai que, dans certains cas (et probablement dans tous) de développement d'un courant vol-

taïque, il s'opérait une réaction par la force voltaïque elle-même, et que, à la cessation de la force initiale, celle de réaction paraissait être dans une direction opposée. Je montrai de plus que la diminution ou l'enlèvement de cette réaction était un moyen d'accroître la force du courant initial. Cette réaction dans les électrolytes (quoiqu'elle ne soit nullement bornée à ceux-ci) est ce que l'on a généralement nommé la polarisation, et elle serait une des résistances dont il faudrait tenir compte dans le calcul de la force voltaïque selon la formule de Ohm.

J'ai reconnu dernièrement qu'un des moyens d'augmenter la force du courant initial était de diminuer (ou pour ainsi dire d'absorber) cette réaction, et qu'un autre moyen d'arriver au même but serait d'ajouter à la force initiale sa réaction, ce qui ne paraît pas impraticable. Après divers essais, les expériences suivantes ont réalisé mes idées sur ce sujet.

Première expérience. J'ai pris un élément de la pile à acide nitrique, dont la surface active était, pour chacun des deux métaux, de 6 pouces carrés. J'ai pris, en outre, un voltamètre ordinaire, dont chaque électrode avait demi-pouce de surface; le liquide était de l'acide sulfurique étendu. On a laissé la décomposition s'opérer dans ce circuit durant 6 heures; la pile (pour qu'elle offrît plus de sûreté quant à sa constance) a été, dans cette expérience et dans les deux autres, rechargée toutes les deux heures, et le niveau du liquide dans le voltamètre a été soigneusement marqué sur le tube.

Deuxième expérience. On a pris le même élément et le même voltamètre, mais en interposant entre eux une paire de larges lames de platine, ayant chacune 42 pouces carrés de surface, et plongeant dans de l'acide sulfurique étendu. Cette combinaison a été de même mise en activité durant 6 heures. Un léger dégagement de gaz a eu aussi lieu dans le voltamètre, et le niveau du liquide a été aussi marqué.

Troisième expérience. On s'est servi du même appareil que dans le dernier cas, mais avec cette différence qu'un aide a été

chargé de changer, à certains intervalles, les fils qui plongeaient dans les godets de mercure des grandes lames intermédiaires, de manière à renverser le sens des plaques relativement à la direction du courant, en changeant ainsi le cathode en anode et *vice versâ*; puis à la fin d'un intervalle on les a remises dans leur position primitive, et on a continué ainsi durant les 6 heures à alterner la position de ces plaques relativement au courant. On fixait l'intervalle de la manière suivante : Au premier moment où le circuit était fermé, on voyait un dégagement notable de gaz s'opérer dans le voltamètre; puis ce dégagement cessait graduellement, et lorsqu'il était devenu presque imperceptible, on changeait la direction du courant; puis un nouveau dégagement de gaz avait lieu, et lorsque celui-ci cessait de nouveau, les fils devaient être rechangés, et ainsi de suite. Au bout de 6 heures, le niveau du liquide a été marqué comme dans les expériences précédentes.

Voici les nombres qui expriment les quantités de gaz dégagées dans le voltamètre; ce sont des moyennes de plusieurs expériences :

		pouc. cub.
Première expérience . . .	=	0,15
Deuxième expérience . . .	=	0,10
Troisième expérience . . .	=	0,23

Dans aucune des deux dernières expériences on n'a vu de bulles de gaz sur les grandes plaques de platine intermédiaires.

Il paraît, d'après ces expériences, que la pile avec acide nitrique décompose l'eau, même lorsque son courant traverse deux paires d'électrodes inoxidables, pourvu que l'une d'elles soit d'une dimension considérable relativement aux autres parties du circuit, de manière à diminuer la résistance.

Je ne m'arrêterai pas, dans ce moment, à rechercher si cette diminution de résistance est causée par la simple augmentation de la surface de section de l'électrolyte, ou par le fait que la solution de l'oxigène et de l'hydrogène est rendue plus facile;

ou bien encore si l'oxigène et l'hydrogène ne sont pas éliminés, mais simplement mis dans un état de tension polaire, ou rendus adhérents sous la forme liquide ou gazeuse, ou si peut-être quelques-uns de ces effets ont lieu conjointement. Mais je dirai encore quelques mots du fait plus remarquable que la quantité de gaz dégagée dans la troisième expérience est plus grande, pour un temps donné, non-seulement que celle qui est dégagée dans la deuxième, mais aussi dans la première, de sorte que nous arrivons à ce paradoxe apparent, qu'une pile agit plus fortement avec une résistance interposée que s'il n'y en a point.

Lorsque la pile décompose l'eau dans le voltamètre, c'est en polarisant les grandes lames intermédiaires, ou en créant et accumulant par sa propre force une force contraire; lorsque les fils sont changés, cette force de réaction a la même direction que la force initiale, ce qui constitue en fait deux éléments voltaïques. La réaction étant épuisée, une nouvelle polarisation commence, pour s'ajouter à son tour au courant initial, et la raison de l'augmentation obtenue au voltamètre vient de ce que, lorsque la polarisation se fait sur les grandes plaques, l'eau est décomposée dans le voltamètre; or, quoique ce soit en quantité un peu moindre que si la pile agissait sans cette interposition des grandes lames, cependant cette différence est plus que compensée par l'action de la double paire à chaque changement des fils. Si l'idée que je me fais de ces expériences est exacte, comme la réaction ne peut jamais être plus grande que l'action qui la provoque, nous ne pourrions jamais, dans la troisième expérience, obtenir plus que la quantité de gaz donnée par deux éléments de la pile, mais nous pourrions approcher presque indéfiniment de ce maximum.

Il serait facile de se servir d'un commutateur, au lieu de la main, pour effectuer le changement des fils aux intervalles convenables, et cet instrument pourrait facilement être mis en mouvement par la pile elle-même; mais je préfère établir l'expérience dans sa forme la plus simple, et dégagée de toute complication mécanique.

Quoique l'expérience ici décrite soit exposée uniquement pour expliquer un principe, elle me semble promettre des résultats de quelque valeur pratique. L'économie de cette méthode d'application de force est évidente : nous obtenons un produit double avec une consommation simple. Selon toute probabilité, ce principe n'est pas limité à la force voltaïque, et peut avoir aussi quelque application à la mécanique.

ÉTUDES DE PHOTOMÉTRIE ÉLECTRIQUE, par Mr. A. MASSON. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 19 février 1844.)

La lumière électrique éprouve dans son intensité des variations tellement liées aux autres effets produits par l'électricité, que l'étude de ces variations et leur mesure doit conduire à une connaissance plus intime d'un agent qui, par des métamorphoses jusqu'alors inconnues, donne naissance à tous les phénomènes attribués à plusieurs causes.

Afin d'obtenir les rapports qui existent entre le fluide électrique et ses effets lumineux, j'ai cherché à mesurer les intensités des étincelles électriques. Dans l'impossibilité d'employer dans mes recherches les photomètres connus, tous applicables seulement à des lumières fixes, j'ai, pour évaluer les rapports des intensités de lumière, dont la durée moyenne peut être portée à un millionième de seconde, employé un procédé qui repose sur les principes suivants. Si, en présence d'une lumière fixe, on fait tourner rapidement un disque recouvert de secteurs noirs et blancs, on apercevra, et la cause en est bien connue, un disque blanc. Si l'éclairement est produit par une lumière instantanée, le cercle paraîtra fixe, et l'on distinguera nettement les secteurs.

Si le disque est en même temps éclairé par une lumière permanente et une lumière instantanée, une étincelle électrique par exemple, on verra les secteurs, si la lumière instantanée éclaire suffisamment le disque. L'éclairement nécessaire dépendra de la sensibilité de l'organe et de l'intensité de la lumière fixe. Mais, dans tous les cas, le rapport qui devra exister entre les intensités des deux lumières, pour qu'on voie les secteurs s'effacer, sera constant pour un même individu ou une même disposition de l'organe. On admet généralement que si, sur un papier blanc, on projette une ombre très-légère, elle sera vue sur le fond, surtout en la faisant mouvoir, lorsqu'elle produira une différence d'éclairement de $^1/_{60}$ environ. On pourra, dans nos expériences, prendre sensiblement cette limite pour le rapport des intensités de la lumière fixe et de la lumière instantanée au moment où l'on cesse d'apercevoir les secteurs; cette limite, bien entendu, variera avec la sensibilité de l'organe. Pour faire concevoir l'analogie entre les effets produits sur notre appareil par la lumière instantanée, et ceux qu'on obtient en projetant une ombre légère sur un fond blanc, nous devons entrer ici dans quelques détails. Lorsque le disque se meut rapidement, et qu'il est éclairé par une lumière fixe, il apparaît blanc, et la sensation produite est persistante. Au moment où la lumière instantanée éclaire les secteurs, les parties du cercle apparent correspondantes aux secteurs noirs agissent sur l'organe comme si la lumière instantanée n'existait pas, et les autres reçoivent au contraire un accroissement d'illumination. On est alors dans les conditions suivantes : l'œil aperçoit des secteurs ayant le même degré d'illumination que le disque, quand la lumière instantanée n'existe pas, et d'autres secteurs un peu plus éclairés. Cette différence, uniquement due à la lumière instantanée, fait apercevoir la division du disque en secteurs, et, d'après ce que nous avons dit plus haut, cette différence est une fraction de la lumière fixe; le rapport entre les deux éclairements dépend de l'organe de l'observateur. Il est

utile de remarquer ici que, si les secteurs blancs et noirs sont égaux en surface, l'illumination du disque est la moitié de l'éclairement que produirait la lumière fixe sur un disque entièrement blanc ; elle en serait seulement le dixième si les secteurs noirs occupaient une surface dix fois plus grande que celle des secteurs blancs. En conséquence, si, dans la comparaison des lumières fixes à une lumière instantanée, on commet une erreur sur la mesure des éclairements produits par les premières, il faut diviser cette erreur par le rapport des surfaces des secteurs noirs et blancs, pour avoir l'erreur commise sur la mesure de la lumière fixe totale.

L'appareil que j'ai employé, et que je désignerai sous le nom de *photomètre électrique*, est simplement composé d'un disque ayant 8 centimètres de diamètre, et portant 60 secteurs égaux. Il est mis en mouvement par un mouvement d'horlogerie, et fait deux à trois cents tours par seconde.

Les éléments dont j'ai étudié l'influence relativement à l'intensité de la lumière électrique sont :

1° La distance d'explosion que je désignerai par x ;

2° La distance y de l'étincelle au disque ;

3° La distance z de la lumière fixe au photomètre ;

4° La surface s des condensateurs qui étaient formés de carreaux de verre recouverts de feuilles d'étain ;

5° L'épaisseur E de ces condensateurs ;

6° La nature des pôles de l'étincelle.

Dans un prochain Mémoire, je donnerai l'influence de la conductibilité du circuit parcouru par l'étincelle, et l'action exercée par les variations du pouvoir condensant des condensateurs.

De nombreuses expériences m'ont conduit à des lois qui sont toutes comprises dans la formule suivante :

$$I = \frac{K\,[1 + m\,(x-1)^2\,s]}{y^2\,E}.$$

K et *m* sont des constantes, fonctions de la conductibilité du circuit et du pouvoir condensant des condensateurs ;

I est l'intensité de l'éclairement produit par l'étincelle, à l'unité de distance.

L'intensité de la lumière électrique n'est nullement modifiée par la forme des cadres.

La nature des boules entre lesquelles est produite l'étincelle, change la valeur absolue de l'intensité, sans altérer les lois contenues dans la formule précédente.

Nous avons été conduit par nos expériences à admettre que la lumière électrique est une simple explosion dans le fluide éthéré qu'elle met en mouvement, et à croire que le métal transporté par l'étincelle n'est pas la cause de la lumière, qu'il augmente en déterminant un accroissement dans la conductibilité du circuit. Nous pensons, en outre, que l'étincelle électrique agit dans les combinaisons et les décompositions chimiques, de deux manières : premièrement comme courant électrique, et, dans ce cas, elle décompose ; secondement comme corps en ignition, à cause de l'incandescence des substances pondérables qu'elle transporte, et alors elle produit des combinaisons.

Lorsque les conditions de la production d'une étincelle électrique restent invariables, l'intensité de sa lumière est fixe, ce qui nous porte à croire que nous avons enfin trouvé une unité photométrique constante. Il est inutile d'ajouter que le photomètre électrique peut servir non-seulement à mesurer des lumières instantanées, mais encore à la mesure des lumières fixes, et qu'en lui donnant diverses formes, on pourra l'employer à l'étude des intensités des différentes parties du spectre lumineux.

DES LOIS QUI PRÉSIDENT A LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE DES CORPS, par Mr. E. BECQUEREL. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 4 mars 1844.)

Le but que je me suis proposé, dans le travail que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie, est de faire connaître les lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps.

Mr. Faraday avait posé en principe que lorsqu'on faisait traverser un même courant électrique à travers plusieurs dissolutions métalliques, telles que celles de nitrate de cuivre, de plomb, d'argent, etc., des quantités équivalentes de métal se déposaient au pôle négatif dans chaque dissolution Mais cette loi n'est vraie que dans un petit nombre de cas, lorsque le sel est formé d'un équivalent d'oxide et d'un équivalent d'acide, et ne rend pas compte des effets que l'on observe dans la décomposition d'un très-grand nombre de combinaisons.

Je citerai, comme exemple, les hyponitrites de plomb, qui donnent, au pôle négatif, deux et trois fois et demie autant de plomb que le nitrate, pour un même courant.

J'ai examiné l'action décomposante de l'électricité sur des séries de corps bien analysés; ainsi j'ai successivement soumis à l'expérience tous les chlorures métalliques, les oxides et l'eau oxigénée, les acétates et les hyponitrites de plomb, etc.

Tous les résultats que j'ai obtenus m'ont conduit aux conclusions suivantes:

Lorsqu'une combinaison binaire ou ternaire est soumise à l'action décomposante de l'électricité, la décomposition se fait toujours en proportion définie, de telle sorte que, pour un équivalent d'électricité employé, un équivalent de l'élément électro-négatif, ou du moins du composé qui joue le rôle d'a-

cide dans la combinaison, se porte au pôle positif, et la quantité correspondante de l'élément électro-positif ou qui se comporte comme base, se porte au pôle négatif.

Cette loi peut être encore formulée comme il suit :

Un équivalent d'une combinaison formée par la réunion d'un équivalent d'acide et d'une quantité correspondante de base, exige toujours un équivalent d'électricité pour être décomposé électro-chimiquement.

J'ai nommé *équivalent d'électricité* la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un équivalent d'eau.

Ces lois ne sont relatives qu'à l'effet direct du courant et nullement aux effets secondaires, car il existe certains sels, tels que les acétates de plomb, qui ne sont décomposés que par l'action réductive de l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, et qui donnent toujours un équivalent de métal au pôle négatif.

S'il faut un équivalent d'électricité pour décomposer un équivalent d'une combinaison quelconque, on peut admettre que si les deux éléments électro-positif et électro-négatif, qui forment la combinaison, sont séparés et se recombinent, ils dégagent exactement un équivalent d'électricité. De là, en se reportant à la loi énoncée plus haut, on déduit les conclusions suivantes, qui sont *très-importantes pour la chimie moléculaire :*

1° Lorsqu'un équivalent d'un corps, soit simple, soit composé, se combine avec un ou plusieurs équivalents d'un autre corps, si le premier joue le rôle d'acide dans la combinaison, le dégagement d'électricité qui résulte de leur action chimique est tel, qu'il se produit toujours un équivalent d'électricité ;

2° Si un équivalent d'un corps, tel que l'oxigène, s'est déjà combiné avec un autre qui joue le rôle de base, et que la combinaison s'unisse de nouveau avec un équivalent du premier corps, c'est-à-dire d'oxigène, pour former un deuto-sel, il se dégage encore, lors de cette deuxième action, un équivalent d'électricité.

Ainsi la quantité d'électricité dégagée ne dépend que du corps qui joue le rôle d'acide dans la combinaison.

Il n'a été question dans mon Mémoire que des substances inorganiques, parce que les composés organiques sont pour la plupart non conducteurs de l'électricité, et que, lorsqu'ils conduisent, les effets secondaires masquent tellement l'effet direct, qu'il est très-difficile de reconnaître l'action définie de l'électricité.

Les principes que j'ai posés représentent bien tous les résultats obtenus, quant aux effets directs, de sorte qu'il existe un rapport constant entre la théorie chimique des équivalents et les décompositions par l'électricité. Il était très-important de les établir, car ils doivent servir de point de départ à toute théorie électro-chimique.

NOUVELLE PILE A EFFET CONSTANT, par le prince P. BAGRATION. Extrait d'une communication faite à l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg, par Jacobi (*Institut* du 22 février 1844).

L'application de la pile de Volta ayant reçu, dans ces derniers temps, un grand développement, je crois de mon devoir de rendre compte à l'Académie d'un perfectionnement qui réduit ce précieux appareil à sa plus simple expression, et qui pourra par cette raison devenir très-utile sous le rapport pratique.

Tout le monde sait qu'il n'est rien de plus facile que d'obtenir un courant galvanique. Prenez un morceau de zinc et un morceau de cuivre, réunis au moyen d'un fil métallique; plongez-les dans de l'eau acidulée ou saline, et vous produirez ce courant remarquable, qui se manifeste par des effets tant chi-

miques que calorifiques et magnétiques. Mais on connaît aussi toutes les difficultés qu'il y aurait à surmonter si l'on voulait obtenir par ce moyen des effets dont l'action fût constante et soutenue. Les obstacles qu'oppose le décroissement rapide de la force qui commence à se manifester dès le moment où le circuit est fermé, ont pendant près d'un demi-siècle entravé les progrès de la science, et empêché les applications pratiques dont on n'avait pas manqué d'entrevoir la possibilité. C'est à Mr. Daniell que nous devons la découverte d'une pile à effet constant, découverte admirable et qui a donné au galvanisme une toute nouvelle impulsion. Je ne parlerai pas ici des nombreux changements et perfectionnements qu'on a faits depuis dans ces batteries ; je ferai observer seulement qu'aux grands avantages que présentent tous ces appareils, dont la construction est basée sur les mêmes principes, se joignent plusieurs inconvénients dont voici les plus graves.

L'emploi de deux liquides séparés l'un de l'autre par une cloison poreuse, rend la manipulation de ces appareils d'autant plus incommode que le nombre des éléments est plus considérable. Pendant l'action de la pile, et plus encore lorsque cette action doit être interrompue pour quelque temps, des effets d'endosmose se font sentir et occasionnent un mélange des deux liquides à travers le diaphragme. Les liquides doivent être constamment entretenus à un certain degré de concentration ou de dilution, ce qui est surtout difficile à atteindre lorsqu'on se sert de l'acide nitrique. Enfin les pores des diaphragmes se remplissent souvent de cristaux qui empêchent la circulation du courant, et nécessitent un changement ou un lavage assez fréquent de ces cloisons.

Tous ceux qui font un usage fréquent des piles préféreraient sans aucun doute employer des éléments moins énergiques, mais plus grands et plus nombreux, si par-là il était possible d'obtenir une pile constante et dont la manipulation fût plus simple, ou, pour mieux dire, une pile qui, une fois construite, n'exigeât aucune manipulation.

Voici les conditions qui remplissent parfaitement ce but.

Qu'on prenne un pot à fleurs ou tout autre vase imperméable à l'eau, qu'on le remplisse de terre saturée d'une dissolution assez concentrée de chlorure d'ammoniaque ou de sel ammoniac, qu'on y place ensuite, à quelque distance l'une de l'autre, une plaque de cuivre et une plaque de zinc, et on aura un couple voltaïque dont l'action deviendra dans un court espace de temps d'une constance parfaite, et qui pourra être maintenue dans cet état pendant des mois entiers et, selon toute apparence, même pendant des années, pourvu qu'on prenne soin d'humecter de temps en temps la terre et de renouveler s'il est nécessaire la plaque de zinc, qui, comme cela s'entend, commencera à se dissoudre aussitôt que le circuit sera fermé, mais très-faiblement, et en raison de la force de courant qui aura lieu.

Avant de mettre la plaque de cuivre dans la terre, il est bon de la plonger pour quelques minutes dans une solution de sel ammoniac et de la laisser ensuite sécher, jusqu'à ce qu'il se soit formé à la surface une couche verdâtre. Cette opération rend l'effet de la batterie beaucoup plus prompt, et il me semble même que, sous ce rapport, le laiton sera peut-être préférable au cuivre.

La théorie de cette pile ne saurait être encore établie d'une manière exacte et précise, mais il paraît que la constance de son action provient de ce que l'hydrogène qui devrait se développer à la surface du cuivre est employé à réduire la couche du double sel de ce métal, qui se forme par l'action chimique du sel ammoniac sur le cuivre, de manière que la constance de l'action pourrait être considérée comme l'expression d'une espèce d'équilibre entre cette action chimique et la réaction galvanique. La terre n'agit ici, à ce qu'il paraît, que comme diaphragme très-poreux, qui empêche que le sel de zinc ne soit, par l'action du courant galvanique, réduit à la surface du cuivre, et en même temps que le zinc ne puisse avoir

de réaction chimique sur le sel de cuivre. Ajoutons qu'il n'est pas non plus impossible que la terre, comme tout corps poreux, absorbe les bulles d'hydrogène qui dans les piles ordinaires recouvrent la plaque de cuivre et occasionnent, comme on sait, une diminution de la force électromotrice.

On fera bien de ne pas placer les deux plaques trop près l'une de l'autre, et de donner quelque épaisseur à la couche de terre qui se trouve entre elles. De même, les plaques ne doivent pas être trop petites, par la raison que la terre oppose une grande résistance au passage du courant. Je n'ai pas encore trouvé le temps d'évaluer en nombres exacts les constantes de ces piles, ni d'entrer plus profondément dans les détails de cette combinaison, qui, comme il est à espérer, subira encore maints perfectionnements tant par le zèle de l'inventeur que par l'usage qui en deviendra plus général.

Comme on fait aujourd'hui partout de grands efforts pour faire avancer les applications du galvanisme, la publication de cette invention ne doit pas être retardée plus longtemps. Cette pile est, comme je l'ai déjà dit, susceptible de beaucoup d'applications, et son utilité se fait principalement sentir dans ces cas où il s'agit moins d'effets très-énergiques que d'une action constante et prolongée, comme par exemple dans la réduction des métaux, dans les décompositions chimiques, etc. Je ne vois pas quel inconvénient il pourrait y avoir à placer dans la cave ou au grenier des centaines de ces vases ou pots à fleurs, qui fourniraient une source perpétuelle d'électricité dont on pourrait disposer à son gré. Moi-même j'ai établi chez moi une pareille batterie de vingt-quatre éléments, qui est en action depuis environ six semaines, sans qu'on ait eu besoin pendant tout ce temps d'y apporter le moindre changement. Il est inutile d'ajouter que les vases doivent être très-bien isolés, principalement quand il s'agit d'employer des séries à nombreux éléments. Comme il y a dans la pile même une grande résistance,

la perte provenant d'un isolement défectueux deviendrait plus sensible que dans les piles de Daniell, etc.

L'invention de cette pile est due au prince Pierre Bagration, lieutenant aux pionniers à cheval de la garde, et aide-de-camp du général Vitoftoff, chef des ingénieurs de la garde.

Je crois nécessaire d'ajouter encore une remarque. J'avais placé dans la terre, il y a quelque temps, jusqu'au niveau d'eau, deux plaques assez grandes de cuivre et de zinc, et j'ai obtenu par ce moyen un couple d'une force absolument constante et assez énergique pour décomposer plusieurs solutions métalliques, entre autres celle qu'on emploie pour la dorure par la voie galvanique. Mais ce simple moyen ne saurait être employé s'il s'agissait de produire une plus grande force électromotrice, effet qu'on ne peut obtenir, comme tout le monde le sait, que par la combinaison de plusieurs couples en série. Quoique dans l'un et l'autre cas on fasse usage de la terre, il est évident cependant que le procédé que j'ai employé ne doit pas être confondu avec la pile du prince Bagration qui est susceptible d'une bien plus grande énergie.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS A LA CONSTRUCTION DE LA MACHINE ÉLECTRIQUE, par CRAHAY. (*Institut* du 10 janvier 1844.)

Les avantages que présentent les machines électriques, disposées de manière à fournir à volonté soit l'un, soit l'autre des fluides que le frottement développe, sont assez connus et ont fait accueillir partout avec faveur une disposition imaginée par Van Marum pour atteindre ce but. Les machines construites sur ce modèle sont très-répandues aujourd'hui, et se trouvent figurées dans la plupart des traités de physique. Cependant,

comme elles ne donnent à la fois qu'un seul des deux fluides, elles sont impropres à certaines expériences très-intéressantes pour la théorie, et qui exigent le concours simultané des deux électricités. Tous ceux qui se servent de ces machines sont dans le cas de regretter que l'usage en soit limité sous ce rapport.

Ayant fait remonter, il y a deux ans, pour le cabinet de l'université catholique, une machine électrique construite primitivement en Hollande d'après le plan de Van Marum, Mr. Crabay y a fait apporter des changements qui, en permettant de recueillir simultanément les deux fluides sur des conducteurs distincts, complètent ce que l'instrument laissait à désirer à cet égard dans la construction primitive.

Un moyen différent, pour arriver au même but, a été trouvé par Mr. Dujardin, docteur-médecin à Lille.

Comme ces perfectionnements sont de nature à intéresser les personnes qui s'occupent d'électricité, et qui possèdent des machines construites sur le plan du célèbre physicien hollandais, il ne sera pas inutile de faire connaître les modifications imaginées par Mr. Dujardin et par Mr. Crabay, avec assez de détail pour que l'on puisse en faire des applications.

Dans le modèle primitif de Van Marum, une grosse boule isolée de cuivre remplit la fonction de premier conducteur. Elle reçoit le fluide électrique à l'aide d'une double branche, courbée en demi-cercle, mobile autour d'un axe, et dont les deux extrémités, munies de petits collecteurs dirigés vers le plateau, peuvent être placées ou en contact avec les frottoirs, ou à 90 degrés de distance de ceux-ci. Dans le premier cas, le conducteur se charge négativement, dans le second, il prend le fluide positif. Afin de conduire en terre celui des deux fluides que le premier conducteur ne recueille pas, et dont la présence empêcherait la charge de ce conducteur, une double branche, semblable à la première, est disposée de l'autre côté du plateau. Le collet sur lequel elle est montée et autour duquel elle peut tourner embrasse l'arbre du plateau, sans en gêner le

mouvement rotatoire, et est fixé au pilier qui supporte cet arbre. Par cette disposition, ce second conducteur est constamment en communication avec la terre, par l'intermédiaire du pilier, et ne permet pas de recueillir le fluide qu'il prend soit aux frottoirs, soit au plateau. De sorte qu'on ne peut toujours obtenir qu'un seul des deux fluides, et c'est le premier conducteur qui s'en charge.

Maintenant, la modification proposée par Mr. Dujardin consiste à supprimer le conducteur semi-circulaire attaché au pilier, et à réunir, par un conducteur courbé en arc, les deux boules métalliques auxquelles sont attachés les frottoirs. On conçoit d'après cela que le premier conducteur à grosse boule, dont les collecteurs restent fixés à 90 degrés de distance des frottoirs, reçoit constamment le fluide vitré du plateau, tandis que le fluide résineux des frottoirs se répand sur les deux boules qui les supportent, ainsi que sur l'arc métallique qui réunit ces boules dans le nouvel arrangement de Mr. Dujardin. Veut-on n'employer qu'un seul des deux fluides, on le prend à l'un des deux systèmes de conducteurs, pendant que l'autre est mis en communication avec la terre; veut-on les deux fluides à la fois, on supprime la chaîne qui conduit au sol, et chaque système de conducteurs rend l'électricité qui lui est propre.

Dans la disposition adoptée par Mr. Crahay, pour arriver au but indiqué, on conserve le conducteur attaché au pilier; seulement on l'isole de ce pilier à l'aide d'un cylindre de verre, disposé parallèlement et à quelques centimètres de distance du gros cylindre isolant qui fait partie de l'arbre et à l'extrémité duquel le plateau est adapté. Mais cet arrangement a exigé que la forme de ce conducteur fût un peu modifiée par la nécessité de le tenir à des distances suffisantes et du pilier et de la virole métallique sur laquelle le plateau est monté; les collecteurs adaptés aux deux bouts de ce conducteur continuent à se trouver aux deux extrémités d'un diamètre du plateau. L'isoloir de ce conducteur est fixé à une pièce métallique mobile

autour du collet attaché au pilier, et qui donne passage à l'arbre du plateau. Il résulte de là que ce conducteur peut encore, comme auparavant, prendre toutes les positions autour de l'axe de rotation; être appuyé contre les frottoirs, ou en être éloigné à 90 degrés. Son isolement permet d'y conserver le fluide qu'il tient respectivement de ces deux positions, pendant que le premier conducteur, dont les branches doivent toujours être placées perpendiculairement à celles du second, prend le fluide de nature opposée.

On voit que cette modification conduit, comme celle de Mr. Dujardin, à accumuler simultanément les deux fluides électriques sur deux conducteurs séparés; mais, tandis que celle de Mr. Dujardin ne permet que d'avoir toujours le positif sur le premier conducteur, le négatif sur les frottoirs et sur l'arc métallique qui les réunit, l'arrangement de Mr. Crahay laisse la faculté d'intervertir cet ordre: car, en appuyant le premier conducteur contre les frottoirs, et en plaçant le second conducteur à 90 degrés de distance, ce sera ce dernier qui prendra le fluide vitré, l'autre aura le fluide résineux. Le changement de rôle dont les deux conducteurs sont capables étend encore l'usage de cette machine, et rend plus démonstratives certaines expériences. Il est certain, d'un autre côté, que la disposition imaginée par Mr. Dujardin présente l'avantage d'être plus facile et moins coûteuse à établir, et de donner plus de stabilité aux colonnes qui supportent les frottoirs, en supposant toutefois que l'arc par lequel on les lie ait quelque rigidité; seulement il faudra beaucoup exhausser cet arc, afin d'empêcher que son fluide négatif ou son état naturel ne provoque une décharge du conducteur positif, dont l'un des collecteurs reste toujours enveloppé par l'arc. Il sera même difficile de prévenir cet inconvénient, pour peu que la machine soit active, à moins de donner à l'arc un exhaussement beaucoup plus fort que celui, à peu près en demi-cercle, représenté dans le dessin qui est joint à la note de Mr. Dujardin; l'exhaussement est d'autant plus

nécessaire que, d'après ce plan, les collecteurs du premier conducteur sont repliés de manière à recueillir l'électricité sur les deux faces du plateau, ce qui les fait saillir plus fortement au delà du bord du plateau, et rapproche davantage l'un d'eux de l'arc métallique. L'arrangement de Mr. Crabay ne comportait pas le repliement des collecteurs; mais l'expérience a appris qu'il y avait un avantage décidé à les garnir de quelques pointes dirigées vers le plateau, ainsi que Mr. Dujardin le pratique également. Van Marum préférait leur donner la forme de cylindres à surface lisse.

QUELQUES PHÉNOMÈNES VOLTAÏQUES, par GROVE. (*Electrical Magaz.*, octobre 1843.)

En parcourant dernièrement mon cahier d'expériences, j'ai retrouvé la description de quelques phénomènes que j'y avais déposée il y a plusieurs mois, et même plusieurs années, avec l'intention d'y revenir dans l'occasion. Cette occasion ne s'étant pas présentée, et le nombre des faits que j'appellerai *accessoires*, tendant plutôt à augmenter, je viens en indiquer ici quelques-uns, qui pourront peut-être offrir de l'intérêt, et même de l'utilité, aux physiciens dans les recherches desquels ils se trouveraient rentrer.

J'ai déjà publié, dans le *Phil. Mag.* d'octobre 1839, le fait que, lorsque c'était du cuivre qui formait l'anode d'une pile voltaïque dans un mélange d'acide nitrique et sulfurique, il devenait inactif, qu'il ne s'oxidait point et n'émettait point d'oxigène; différent toutefois, sous ce dernier rapport, du fer inactif, il arrêtait l'action électrolytique, et par conséquent le passage du courant voltaïque. Quelques faits, que j'ai observés depuis lors, me paraissent jeter du jour sur cette anomalie.

On sait que lorsqu'un fil de cuivre forme l'anode d'une bat-

terie voltaïque de force moyenne, chargée avec de l'acide sulfurique étendu, il s'oxide et se dissout graduellement. J'ai remarqué que si l'intensité de la batterie est augmentée, il y a un certain point (qui varie avec la combinaison voltaïque que l'on emploie) où l'action est arrêtée; le cuivre cesse de se dissoudre, et le galvanomètre interposé dans le circuit n'indique plus qu'un courant très-faible, ou même nul. Si l'on augmente l'intensité en augmentant graduellement le nombre des couples voltaïques, il se passe un phénomène curieux. Le cuivre semble se désagréger en entrant pour ainsi dire en ébullition; il prend l'apparence d'une poudre d'un beau rouge brun; la chaleur est intense, et l'électrode se consume rapidement. La poudre ainsi formée est dissoute en partie, pourvu que l'acide ne soit pas déjà saturé; après la saturation elle se dépose, et il est facile d'en faire l'analyse. C'est le second oxide, soit *cuivre* 32 + *oxigène* 8, nommé protoxide par les uns, et deutoxide par d'autres. Après l'avoir soumis à l'action des moyens chimiques ordinaires, je l'ai analysé voltaïquement, en comparant le poids perdu à l'anode avec l'hydrogène dégagé au cathode. Je trouve les expériences suivantes dans mon cahier de notes, sous la date du 27 avril 1841.

Thermomètre à 60° *Fahrenheit.*

Exp. 1	pr 6 pouc. cub. d'hydrog.	recueilli,	perte à l'anode	4,2
2	idem	idem	idem	4,2
3	idem	idem	idem	4,3
				12,7
Maintenant	47,2 : 32 = 6 : 4,07		. . . .	4,23

Ce résultat, que j'ai obtenu en me servant d'une balance ordinaire et trop peu délicate pour une très-juste appréciation, était toutefois suffisamment exact pour démontrer que la poudre était bien le véritable oxide. Le nombre des couples de la batterie a varié de 1 à 20 cellules; c'étaient des couples platine, acide nitrique, zinc et acide sulfurique étendu. J'ai trouvé, en

général, qu'il fallait de 5 à 10 couples pour que le courant cessât d'être transmis, et que la désagrégation du cuivre manquait rarement d'avoir lieu avec 12 à 16 couples.

Les points qui sont importants à remarquer dans cette expérience, sont les suivants :

1. L'effet purement mécanique du courant voltaïque, l'oxide étant séparé forcément sans qu'il y ait d'autre combinaison chimique.

2. Le fait qu'il y a un certain degré d'intensité où le courant s'arrête, cette intensité étant trop grande pour l'action de solution ordinaire, et trop faible pour l'action de désagrégation.

3. La forte chaleur qui est produite, et qui paraît être dans ce cas, comme dans toutes les autres expériences voltaïques, proportionnelle à la résistance.

Persuadé, comme je le suis, que l'électricité n'est pas un fluide spécifique ni deux fluides spécifiques, mais une modification (peut-être un mode d'action) de la matière, et que tout phénomène électrique est un changement intermoléculaire des corps au travers desquels passe ce qu'on est convenu d'appeler le courant électrique, je me proposai la question suivante dans quelques expériences que je faisais sur les effets calorifiques de l'électricité voltaïque : Si l'incandescence d'un fil mince est le résultat d'un changement dans l'arrangement de ses particules, changement produit par une force opposée à celle qui détermine leur agrégation, quel sera l'effet de cette force poussée le plus loin possible? Si l'on rend un fil incandescent par l'électricité voltaïque, au point de le mettre en fusion, et qu'on le dispose de manière que le fil conserve après la fusion sa même position dans le circuit voltaïque, quel en sera le résultat? L'expérience fut faite avec des fils de platine et de plomb qu'on plaça dans une rainure de porcelaine non vernie, destinée à maintenir le métal dans la même position. Après la fusion, les fils de platine parurent avoir été légèrement grossis, puis ils se rompirent avec un bruit sec; puis l'un des fragments put de-

venir de nouveau incandescent et se rompit encore, et ainsi de suite jusqu'à ce que les portions fussent devenues trop épaisses pour pouvoir être fondues par la force voltaïque employée. Les extrémités rompues ne présentaient rien d'extraordinaire. Je conclus de cette expérience, que le courant voltaïque tend à dilater ce fil dans le sens transversal, et à le contracter dans la direction longitudinale.

Avec le plomb les effets furent plus remarquables. Le métal manifesta une tendance à se contracter dans le sens de la longueur; et lorsqu'on suivait le sens de la contraction, en rapprochant délicatement l'un de l'autre les fils polaires qui avaient été placés aux extrémités du fil de plomb, il semblait qu'il y avait une espèce de germination qui se manifestait par une série irrégulière de petits nœuds. Je comparerai l'effet produit à un tube membraneux, divisé par une série de ligatures, et tendu ensuite autant que possible. Chaque nœud pressait sur le nœud voisin, et formait des divisions en facettes, qui, lorsqu'elles étaient refroidies, pouvaient être aisément détachées par l'ongle ou par la pointe émoussée d'un canif.

Lorsque l'expérience avait été continuée quelque temps, elle se terminait ordinairement par la rupture du fil de plomb (mais sans bruit, à cause de l'absence d'élasticité), ou bien le circuit était interrompu par suite de l'oxidation du plomb. J'aurais répété les expériences dans le vide ou dans l'hydrogène, si j'avais eu les appareils nécessaires et si je n'avais pas été occupé d'une autre série d'expériences. Je crois toutefois que celles que je viens de mentionner annoncent l'existence d'une force transversale exercée par le courant voltaïque sur les conducteurs solides.

Dans le cours de quelques expériences sur l'arc voltaïque, j'ai observé un dégagement notable et rapide de gaz, en produisant l'arc lumineux entre deux pointes de zinc placées dans une atmosphère d'azote, ce gaz étant lui-même dans une clo-

che sur l'eau. Le gaz dégagé était de l'hydrogène, et il continua à se dégager longtemps après que la petite quantité d'eau, dont les pointes de zinc s'étaient humectées en passant à travers la cuve pneumatique, se fut évaporée. L'effet n'eut point lieu quand on remplaça l'eau de la cuve par du mercure. L'hydrogène paraît provenir de la décomposition de la vapeur aqueuse.

ENREGISTREUR ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE POUR LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES, par Mr. WHEATSTONE. (*Institut* du 6 mars 1844.)[1]

L'enregistreur électro-magnétique construit pour l'observatoire de l'Association britannique est presque terminé. Il enregistre les indications du baromètre, du thermomètre et du psychromètre pour toutes les demi-heures de jour et de nuit, et en imprime les résultats en duplicata, sous forme figurée, sur une feuille de papier. Il n'exige aucune attention pendant toute une semaine, pendant laquelle il enregistre 1008 observations. Cinq minutes suffisent pour préparer la machine à noter une autre semaine d'observations, c'est-à-dire qu'il faut simplement remonter le mouvement de pendule, fournir aux cylindres une autre feuille de papier, et recharger le petit élément voltaïque. L'échelle de chaque instrument est divisée en 150 parties; celle du baromètre embrasse trois pouces; celle du thermomètre renferme tous les degrés de température entre —5° et + 95° F., et le psychromètre a la même étendue.

La machine consiste essentiellement en deux parties distinctes. La première est une horloge régulatrice à laquelle sont attachés tous les mouvements nécessaires récurrents. La seconde

[1] Nous empruntons à *l'Institut* quelques détails sur l'appareil de Mr. Wheatstone, dont nous avions fait mention occasionnellement dans le n° 9 des *Archives de l'Electricité* de 1843, p. 333. (R.)

est un mécanisme ayant une force motrice indépendante, qui est mise en action, à des intervalles de temps irréguliers, par le contact de fils plongeant dans le mercure de l'appareil, ainsi qu'il sera expliqué plus loin. Les principaux mouvements réguliers récurrents qui sont liés à l'horloge sont au nombre de deux : 1° les flotteurs sont élevés graduellement et régulièrement dans les tubes de l'instrument pendant cinq minutes, et descendent ensuite en une minute; 2° une roue à types, portant à sa circonférence 15 figures ou caractères, avance d'un pas à toutes les deux secondes, tandis qu'une autre roue à types, portant 12 bras ou rayons, mais seulement 10 figures, avance seulement d'un pas lorsque la première a complété une révolution. La révolution de la seconde roue à types ne s'effectue qu'au bout de six minutes, c'est-à-dire dans le même temps qu'emploient les flotteurs pour monter et descendre. Ainsi, chaque division successive de l'échelle d'un instrument correspond à un nombre différent présenté par les deux roues à types, la même division correspondant toujours au même nombre. Les deux blancs se présentent lors du retour des flotteurs, occupent une minute, et pendant ce temps il n'y a pas d'observation enregistrée. Le point du contact entre le flotteur et le mercure dans un instrument a évidemment lieu dans une position différente des roues à types, suivant que le mercure est à une élévation ou à une autre; si, par conséquent, les types ou figures s'impriment en ce moment, on conçoit qu'on aura ainsi enregistré la hauteur du mercure. Ce but est atteint de la manière suivante. L'extrémité d'un fil conducteur est en communication avec le mercure du tube de l'instrument, et l'autre extrémité avec la boîte en laiton de l'horloge, laquelle est à son tour en communication métallique avec le flotteur. On a mis dans l'étendue de ce circuit un aimant électrique et un élément voltaïque unique très-petit. L'aimant électrique est placé de manière à agir sur une petite armature de fer doux qui est liée avec la détente du second mouvement. Tant que le flotteur est dans le mercure,

l'armature se trouve attirée; mais au moment où le flotteur abandonne le mercure, l'attraction cesse, et les pièces de la détente permettent à un marteau de frapper les types et de les imprimer sur le cylindre au moyen d'un papier noir à copier. L'armature, en conséquence, reste sans être attirée jusqu'à ce que le flotteur descende. Immédiatement avant qu'il remonte, une pièce du mécanisme qui communique avec le mouvement de l'horloge amène l'armature en contact avec l'aimant, lequel reste en cet état par suite du rétablissement du circuit jusqu'à ce que le contact se trouve de nouveau rompu.

EXTRAIT D'UNE LETTRE DE M. L. PALMIERI A M. LE PROFESSEUR DE LA RIVE.

. . . . . . Le 16 du mois de décembre passé, j'ai obtenu pour la première fois, de concert avec Mr. Linari, l'étincelle d'induction du magnétisme terrestre; depuis ce jour nous avons répété l'expérience toujours avec succès, et nous en avons même rendu témoin Mr. Melloni.

Huit spirales, situées de la manière que vous connaissez déjà [1], reçoivent un mouvement de rotation continu par le moyen d'un système de roues à dents, et l'interruption du circuit a lieu avec un mécanisme en tout semblable à celui de l'appareil de Clarke.

Avec notre batterie on obtient donc tous les principaux phénomènes que produit l'aimant, et elle est de telle nature qu'on peut en augmenter indéfiniment la force.

Dès que je serai parvenu à chauffer le fer jusqu'au rouge des fils métalliques, je publierai la description complète de notre appareil, et vous en enverrai un exemplaire.

Naples, le 2 mars 1844.

[1] Voyez *Archives de l'Electricité*, t. III (année 1843), p. 341.

Archiv. de l'Électr. T. 4. p. 102.

Avis aux Abonnés de la *Bibl. Univ*. pour 1844.

Ils pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me de la nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à 30 fr. chacune, et les années 1841 à 1843 pour 32 fr. chacune, *non compris les frais de port.*

AVIS.

Le 1er et le 2me volume des *Archives de l'Électricité* (années 1841 et 1842) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Quelques expériences sur le courant thermo-électrique d'un circuit homogène et continu, par Mr. A. MOUSSON 5
Sur divers phénomènes d'induction (premier Mémoire), par Mr. Elie WARTMANN, professeur à Lausanne 34
De l'action voltaïque de l'oxigène dans la pile à gaz de Grove, par C.-F. SCHOENBEIN. 56
Sur la production de l'électricité voltaïque, par Mr. Ch. MATTEUCCI. 65
Sur la coloration des métaux (2me Mémoire), par Mr. BECQUEREL . . 74
Description de plusieurs instruments et procédés nouveaux pour déterminer les constantes d'un circuit voltaïque, par Mr. Ch. WHEATSTONE 102
Quelques observations sur le Mémoire de Mr. Wheatstone, par Mr. le professeur DE LA RIVE. 143
Expériences sur la réaction voltaïque, par W.-R. Grove 148
Etudes de photométrie électrique, par Mr. A. MASSON 152
Des lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps, par Mr. E. BECQUEREL 156
Nouvelle pile à effet constant, par le prince P. BAGRATION 158
Perfectionnements apportés à la construction de la machine électrique, par CRAHAY. 162
Quelques phénomènes voltaïques, par GROVE. 166
Enregistreur électro-magnétique pour les observations météorologiques, par Mr. WHEATSTONE 170
Extrait d'une lettre de Mr. PALMIERI à Mr. le professeur de la Rive. 172

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

DE GENÈVE.

ARCHIVES

DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

Nº 14. (Tome IV. — 1844.)

Publié le 30 juillet 1844.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,
AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
CHEZ B. GLASER,
Rue de la Pélisserie, nº 133.

PARIS,
CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,
Rue Dauphine, n. 36.

1844

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraisse tous les deux mois ; les six cahiers bimestriels fo ment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pag environ, même format et caractère que la Bibli thèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l'a née 1844) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs.
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Genève et la Suisse, au Bureau de la Bibliothèque Unive le, chez B. Glaser, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.
Paris et la France, chez Anselin, successeur de Magimel, r hine, n° 36, à Paris.
rin et le Piémont, chez Pic et chez Bocca, à Turin.
an et le R° Lombard-Vénitien, chez Dumolard, à Milan.
e et les Ét. Rom., chez Capobianchi, employé des Postes, à Rom
ste de l'Italie, chez Piatti, libraire, à Florence.
llande, chez Delachaux, libraire, à Amsterdam.
magne et le Nord, chez Michelsen, libraire, à Leipsick.
nde-Bretagne, chez Baillière, à Londres.

MÉTÉOROLOGIE ÉLECTRIQUE, par Mr. Ath. PELTIER.
Première partie.

Introduction.

1. Dans l'étude des phénomènes qui dépendent de la température, de la pression atmosphérique, de l'humidité de l'air, des perturbations magnétiques, etc., on peut rassembler un nombre prodigieux d'observations, qui ont été faites dans la seconde moitié du siècle dernier et surtout dans les quarante-trois années de celui-ci. En les concordant, on en a déduit les conséquences les plus utiles pour remonter à la connaissance des lois qui régissent ces phénomènes. En s'éloignant de l'époque actuelle, les observations ont, il est vrai, des lacunes nombreuses ; elles sont aussi accompagnées d'incertitudes sur leur valeur, à cause de l'imperfection des instruments employés. Cependant, quels que soient les *desiderata* que nous laissent ces observations, on a pu en tirer des résultats importants sur la liaison générale des phénomènes et leurs transformations.

2. Mais, lorsqu'on veut aborder les météores dans lesquels l'électricité agit avec sa toute-puissance ; lorsqu'on veut assister à la naissance de cette force et la suivre jusqu'à sa neutralisation finale, on ne trouve plus que des observations isolées, rares et faites pour la plupart dans une direction fâcheuse, qui ne permet ni de remonter aux causes, ni d'apprécier toutes les circonstances qui concourent à l'accomplissement du phénomène. La route qu'on a suivie jusqu'ici dans l'étude de cette branche de la météorologie, n'a pas permis de faire des progrès bien sensibles, depuis que l'identité de la foudre avec ce qu'on nomme *fluide électrique* fut démontrée par Franklin,

et depuis que Beccaria a publié le résultat de ses recherches sur l'électricité atmosphérique. Toutes les observations ultérieures n'ont fait que renouveler et constater celles de ces deux physiciens, sans y ajouter des faits importants [1]. On y a joint quelques détails sur les *maxima* et les *minima*, et on a transformé en cause générale le résultat d'une expérience contestable, en la présentant comme l'origine de l'électricité atmosphérique. Cette expérience [2], ainsi que la conséquence qu'on en tirait, aurait été sans doute un très-grand progrès, si les faits et l'observation en avaient consacré la réalité; malheureusement pour elle, les faits et l'observation lui furent toujours contraires. Cette expérience est celle qui fit attribuer à l'évaporation spontanée, l'immense quantité d'électricité que renferment les vapeurs et les nuages, parce qu'on obtient des signes électriques en projetant quelques gouttes d'une dissolution saline sur un métal incandescent. On avait vu que la vapeur emportait de l'électricité positive, et qu'elle laissait l'électricité négative au reste du liquide; on en avait conclu qu'il suffisait d'un changement d'état de l'eau, pour produire un phénomène électrique, et que c'était à l'évaporation considérable qui avait lieu chaque jour à la surface des mers et des terres humides, qu'était due l'électricité répandue dans l'atmosphère. Cette conclusion était d'autant plus précipitée, que sur les trois expériences de Lavoisier et de La Place, deux lui furent contraires, et que celles de de Saussure étaient tout aussi incertaines. Celles qu'on a faites en 1825 écartaient beaucoup de causes d'erreur, sans doute; elles furent faites avec

[1] Voyez les expériences de Romas, de d'Alibard, du prince Gallitzin, de Muschenbroek, de Le Monnier, Ronayne, Read, Schübler, de Saussure, etc.

[2] Voyez les expériences de Volta, Lavoisier et La Place, faites en 1781. *Mém. Acad. Sc.*, 1781, p. 292, et la note finale de Volta dans son Mémoire sur les *Isolements imparfaits*, Journ. Phys., t. XXII et XXIII. Celles de de Saussure, *Voyages dans les Alpes*, § 805 — 828; et celles qui ont été faites depuis en 1825. *Ann. Ch. Phys.*, t. XXXV et XXXVI.

plus de soins, et les résultats en furent plus concordants ; quoi qu'il en soit, nous verrons plus bas, pourquoi on doit également rejeter les conséquences qu'on en a tirées.

3. Cette théoric, qui a duré près d'un demi-siècle, n'avait point entraîné la conviction générale ; trop d'observations positives venaient chaque jour en ébranler la base [1]. Cependant elle fut acceptée faute de mieux ; mais dans ces derniers temps les expériences que j'ai faites sur le même sujet, n'ont pu laisser de doute sur l'erreur des conséquences qu'on en tirait, et sur l'impossibilité que l'électricité contenue dans l'atmosphère provînt de l'évaporation spontanée, sans l'action d'une autre force concomitante.

4. L'explication des phénomènes électriques laisse donc de grandes lacunes dans la météorologie générale. Nous pensons avoir été assez heureux pour en combler quelques-unes dans nos travaux précédents [2]; nous allons nous efforcer d'en combler de nouvelles dans cet essai, qui n'est qu'un résumé d'un plus grand travail non achevé. Les vapeurs et les nuages étant les récipients de l'électricité atmosphérique, il est nécessaire d'en faire connaître la constitution intérieure, avant d'arriver aux faits purement électriques.

5. Les noms qui ont été donnés aux phénomènes électriques sont défectueux ou erronés ; les plus anciens sont dus à Dufay, et n'ont aucune valeur théorique. Il a nommé *électricité vitrée*, la cause du phénomène électrique que l'on obtient

[1] « MM. Volta et de Saussure » dit Guthrie, dans sa *Dissertation sur le climat de Russie* (Trans. Soc. roy. d'Edimbourg, t. II, p. 224) « pensent que l'électricité de l'atmosphère est due aux vapeurs qui s'élèvent du sol et qui sont positives; mais dans nos contrées rigoureuses, la vapeur est réduite à son minimum le plus extrême, cependant l'air est fortement électrique. »

[2] *Recherches sur la cause des phénomènes électriques de l'atmosphère*, Ann. Chim. Phys., 3e série, t. IV, p. 385 et suivantes. Voyez aussi mon Mémoire *sur les diverses espèces de brouillards*, dans le t. XV des Mém. de l'Acad. roy. de Bruxelles; Ann. Chim. Phys., 3e série, t. VI, p. 139; ou *Bibl. Univ.*, décembre 1842 (t. XLII), p. 368.

en frottant le verre ; et *électricité résineuse*, la cause du phénomène électrique que l'on fait naître en frottant la résine. Quoique ces noms soient empruntés aux substances dont on retire le plus ordinairement l'un et l'autre phénomène, ils n'en ont pas moins une signification fautive, puisqu'on peut produire un signe *résineux* en frottant du verre, et un signe *vitré* en frottant la résine, quand on choisit convenablement le corps frottant.

6. Quoi qu'il en soit, et malgré leur insuffisance, nous les préférons à ceux que Franklin a donnés aux mêmes phénomènes, en les nommant *positif* et *négatif*, parce que ces derniers noms décident la question théorique, que les premiers laissent intacte, et malheureusement ils la décident en sens contraire de la réalité des faits. Franklin, trouvant que tous les phénomènes électriques se résolvaient en une différence en *plus* ou en *moins* dans le même état, n'admit qu'un fluide électrique, au lieu de deux créés par Dufay, et prit pour type le fluide supposé, qu'il croyait provenir du verre frotté ; il ne considéra l'autre état électrique, que comme une négation ou un *minimum* du premier. Il nomma donc électricité *positive* ce que Dufay avait nommé électricité *vitrée*, et électricité *négative* ce que le physicien français avait nommé électricité *résineuse*.

7. Ces deux sortes de dénominations sont fausses l'une et l'autre. Cependant, forcé pour le moment de choisir entre elles, nous emploirons de préférence l'expression de Dufay, comme la plus insignifiante, et nous rejetons celle de Franklin comme étant opposée aux faits. Pour nous, il n'y a pas plus de fluide électrique qu'il n'y a de fluide lumineux, ou de fluide calorifique : on sait que la physique moderne ne considère ces deux derniers ordres de phénomènes, que comme le produit des oscillations imprimées à la substance éthérée qui remplit l'univers ; de même, nous démontrerons dans un autre travail, que tous les phénomènes électriques sont dus à deux états particuliers sous lesquels l'éther se manifeste à nous, et nous ferons

voir que c'est le phénomène que Franklin a désigné par le nom d'*électricité négative*, qui est le véritable produit de cette modification éthérée ; l'autre *électricité*, prétendue *positive*, n'étant que l'absence de l'état véritablement électrique. Nous prions donc le lecteur de nous pardonner la résurrection des deux vieux mots de Dufay, jusqu'à ce que nous en ayons présenté deux autres, plus en harmonie avec les faits naturels.

CHAPITRE Ier. — *Des Vapeurs opaques.*

8. Les nuages opaques sont formés par la réunion de petits corps sphériques, visibles à la vue simple, lorsqu'ils sont projetés sur un fond brun ou noir ; leur grosseur moyenne est d'environ $0^{mm},0224$. On a supposé qu'ils étaient formés d'une vésicule mince d'eau liquide, contenant un gaz ou une vapeur plus légère que l'air, qui compensait la pesanteur spécifique de l'enveloppe [1]. On a prouvé depuis longtemps, que de telles vésicules ne peuvent exister sous la pression atmosphérique et la basse température des couches où se tiennent les nuages [2]. De Saussure lui-même, qui accepte les vésicules, est fort incertain comment elles peuvent se maintenir à cet état, au milieu de l'atmosphère ; il s'en prend tantôt au feu, tantôt à l'électricité. D'après mes propres observations, il y a une autre considération qui milite contre l'état vésiculaire. En étudiant ces prétendues vésicules, soit au milieu d'un brouillard, soit au-dessus de l'eau chaude, et en se plaçant dans les circonstances les plus favorables, on voit que ces petits corps sont mamelonnés et non lisses, comme doivent être des vésicules. Si on les observe sous

[1] Leibnitz, *Opera omnia*, ii, p. ii, 82, édit. 1768.—Halley, *Phil. Trans.*, 1693, n° 192, p. 468. — Kratzenstein, *Mém. Acad. Bordeaux*, 1743. — De Saussure, *Essai sur l'Hygr.*, p. 298 et suiv. — Brewster, *Syst. Mech. Phil.*, dej. Robison, t. II, p. 13. — Kæmtz, *Traité de Météor.*, p. 107—110 de la trad. de Mr. Martins, et t. II, p. 102 et suiv., de son grand traité.

[2] Désaguiliers, *Cours de Phys. exp.*, t. II, 10e leçon. — Eeles, *Phil. Tr.*, 1755, t. XLIX, p. 126 et suiv. — Monge, *Ann. Ch.*, 1800, t. V, p. 1 et suivantes.

un rayon lumineux, en tenant l'œil dans l'obscurité, on remarque qu'elles ne réfléchissent pas la lumière spéculairement, mais qu'elles la dispersent, que leur aspect est mat et non brillant.

9. Avec un grossissement de 8 à 10 diamètres, on voit que ces corps sont formés par la réunion de petits globulins, que nous estimons approximativement à $0^{mm},002$. Ces globulins, présentant eux-mêmes une lumière mate et dispersée, doivent être également formés par la réunion de globulins plus petits encore. Pendant leur agitation par le vent, ou au-dessus d'un vase d'eau chaude, tous ces globules se maintiennent isolés les uns des autres, et ne paraissent jamais s'atteindre. Lorsqu'ils retombent sur la surface du liquide, on les voit rouler et souvent rebondir, comme de petites balles.

10. Cet isolement des globules se fait parfaitement remarquer lorsqu'ils sont chargés d'une électricité libre, soit en les suivant à la loupe, soit en recueillant leur effet sur la boule d'un électromètre. Ce dernier se charge en raison du nombre de contacts de ces globules; dans un air calme, la divergence de l'instrument placé au milieu d'un brouillard s'opère lentement; si le brouillard se déplace, au contraire, les feuilles indicatrices vont frapper les armatures plusieurs fois par minute pour s'y décharger.

11. Cet isolement les uns des autres, toujours maintenu au milieu des agitations de l'air qui les fait tourbillonner en tous sens, prouve que chacun de ces globules possède une force spéciale qui l'*individualise*, et le tient à distance de ses congénères; force de la nature de celle de l'électricité, mais qui n'en mérite pas le nom, puisqu'elle ne produit aucun des phénomènes extérieurs auxquels on l'a réservé. Du reste, la manière dont j'envisage la cause des phénomènes électriques, s'applique directement à l'*individualité* des corps, comme à celle des corpuscules définis dont ils sont formés, avant qu'il y ait de manifestation extérieure.

12. Pour bien comprendre les phénomènes électriques et

en suivre les développements, il faut se familiariser avec l'idée de ces *individualités* de chacune des constituantes des vapeurs opaques et transparentes, individualités aussi nombreuses qu'il y a d'atomes, de molécules, de particules, d'agglomérations parcellaires, depuis le plus petit flocon jusqu'au plus gros *cumulus*, toutes agissant par leur propre force sur les parcelles voisines, avec lesquelles elles forment des corps vaporeux, liquides ou solides. Non-seulement tel est l'état naturel des vapeurs, mais tel est aussi l'état des liquides et des solides. Sans doute, la liberté individuelle est plus limitée dans ces derniers corps, sans doute il y a une plus grande solidarité d'actions et un partage plus facile des altérations qu'une portion du corps a reçues; mais malgré cette plus grande intimité, malgré cette plus grande condensation unitaire, corporelle, chacun des atomes et chacune des molécules conservent encore une partie de cette *individualité* que les phénomènes d'optique et ceux de l'induction électrique prouvent surabondamment.

CHAPITRE II. — *Des Nuages*.

13. On a souvent comparé un nuage orageux à une sphère métallique chargée d'électricité, et l'on a dit que cette électricité était tout entière placée à la périphérie. J'ai déjà fait remarquer dans mes précédents Mémoires, et principalement dans celui qui traite de l'électricité atmosphérique, combien cette manière d'envisager les nuages s'éloigne des faits observés. S'il en était ainsi, si toute l'électricité d'un *cumulus* était à la périphérie, il suffirait d'une seule décharge pour le rendre à peu près neutre; il n'y aurait qu'un coup de tonnerre dans un orage limité et formé de nuages agglomérés. On sait qu'il en est tout autrement; l'on en pourrait citer beaucoup, quoique étant renfermés dans d'étroites limites, qui ont produit un nombre prodigieux de décharges violentes et successives. Du reste, par une expérience facile, que chacun peut répéter, nous prouvons

que les décharges périphériques sont précédées d'une quantité considérable de petites décharges particulières dans l'intérieur des nuages.

14. Je fixe un électromètre armé d'une grosse boule de métal poli, à 1 mètre 5 décimètres au-dessus de mon observatoire, dont le terrasson est à 28 mètres 19 centimètres du sol, et parfaitement dégagé de toute influence latérale. Lorsque le ciel est couvert de nuages orageux, on voit les feuilles d'or diverger brusquement et par secousses, sans qu'il y ait d'éclairs ni de tonnerre. Elles vont souvent frapper les armatures et y décharger leur électricité; souvent aussi, après avoir divergé, elles tombent tout à coup à zéro, et s'écartent peu de temps après sous une nouvelle et brusque influence. Lorsque les feuilles ont subi pendant un certain temps ces influences intermittentes, et qu'elles ont touché les armatures un grand nombre de fois, un coup de tonnerre se fait entendre, l'éclair va frapper un autre nuage ou le sol voisin, le calme paraît se rétablir pour un instant dans l'électromètre; mais bientôt les mêmes divergences reparaissent, les sauts brusques des feuilles d'or les projettent contre les armatures, la périphérie du nuage se recharge d'électricité, et une nouvelle étincelle en jaillit comme la première fois, pour aller frapper le corps le plus à sa proximité.

15. Ce jeu des influences électriques se reproduit pendant tout le temps d'un orage et dans les instants qui précèdent la décharge de la périphérie. Les appareils fixes, destinés à recueillir les courants électriques, présentent les mêmes preuves de décharges intérieures : l'aiguille du rhéomètre est toujours en mouvement, ses oscillations perpétuelles et ses renversements prouvent également qu'il y a des séries d'équilibrations continuelles entre les diverses parties du nuage, avant que la décharge de la périphérie ait lieu par un coup de tonnerre, ou par un tourbillon de vent. Lorsque l'instrument est placé au milieu d'un nuage ou d'un brouillard poussé par le vent, on remarque aussi combien la divergence de l'électromètre varie

avec le passage des flocons et des mamelons opaques. Dans ce cas, il n'est même plus besoin que le nuage soit orageux ; tout nuage, comme tout brouillard, produit cet effet, mais il faut interroger ce dernier le plus haut possible ; les portions basses, étant trop humides et trop conductrices, ont perdu plus ou moins complétement leur électricité, qui s'est écoulée dans le centre commun.

16. Ces expériences prouvent qu'un nuage n'est pas constitué comme une sphère métallique qui a toute son électricité à la périphérie ; l'électricité qui l'enveloppe et lui forme une sphère extérieure, n'est qu'une portion de la masse totale que renferme le nuage ; cette sphère extérieure se reproduit après chaque décharge, au détriment des quantités coercées par chacun des corps ou corpuscules qui concourent à former le nuage entier. Ces expériences conduisent donc à considérer un nuage comme une agglomération de corps distincts, individuels, possédant tous leur charge électrique. Cette conséquence s'accorde du reste avec l'observation directe. En effet, si l'on observe, pendant un beau jour, les cumuli blancs qui repassent à l'état de fluide élastique, on voit que tout le nuage est composé de *nuelles* ou petites nues, qui sont elles-mêmes formées de l'agglomération de mamelons distincts, lesquels sont à leur tour composés de flocons plus petits. Toutes ces portions, séparées par des interstices plus ou moins définis, ont des mouvements propres, quelquefois opposés, sans jamais cependant qu'aucune d'elles cesse de faire partie du nuage entier qui les entraîne dans sa marche.

17. Pendant mon séjour sur le Faulhorn en 1842, j'ai pu observer de près cette série d'alternatives électriques : nous fûmes, mon fils et moi, plongés au milieu des nuages de toute espèce, du 26 au 31 juillet. Ces six journées furent orageuses et très-tempétueuses ; les *nuelles* ou gros mamelons qui se succédaient, différaient souvent de forme et de couleur ; les uns étaient d'un blanc vif, ils étaient assez denses et assez compac-

tes ; les autres, au contraire, étaient d'un gris cendré, baveux et mal définis. Pendant ces six journées il tomba une grande quantité de neige et de grésil sur ce sommet et sur les montagnes voisines. Lorsque la neige tombait seule, elle ne provenait que des nuages blancs, qui tous possédaient une très-haute tension d'électricité vitrée. Quant au grésil, il ne tombait jamais sans la présence de nuages gris : ces derniers avaient une tension résineuse prodigieuse, et de beaucoup plus puissante que la tension vitrée des nuages blancs. Cette tension des nuages gris était telle, qu'il suffisait d'ouvrir la croisée de la chambre où étaient les électromètres placés sur une table, à un et deux mètres de la croisée, pour les voir marcher instantanément vers le maximum de leur échelle, quoiqu'il y en eût de très-peu sensibles. Entre ces gros mamelons, soit de même couleur, soit de couleurs différentes, il y avait des intervalles qui laissaient un instant entrevoir le ciel, et juger de leur épaisseur et de leur forme : la neige ou le grésil cessait de tomber pendant le passage de cette éclaircie, pour recommencer bientôt avec le mamelon suivant [1].

18. La plus grande masse des nuages passait au-dessous de la cime ; elle traversait à environ 2 à 300 mètres du sommet, dans les vallées de Tschingelfeld et de Battenalpe au nord et nord-nord-est, et de Buelsalpe au sud-ouest. Je vis plusieurs décharges ignées dans cette dernière, beaucoup au-dessous de moi ; j'en entendis à peine les coups ; ces décharges s'échan-

[1] « Je fis au milieu de la brume », dit Mr. de Humboldt dans la relation de son excursion à la cime de la Silla de Caracas, « l'expérience de l'électromètre de Volta armé d'une mèche. Quoique très-rapproché des heliconia réunis en un bois épais, j'obtins des signes d'électricité atmosphérique très-sensibles. Elle passa souvent du positif au négatif, en changeant d'intensité à chaque instant. Ces variations et plusieurs petits courants d'air qui divisaient la brume et la transformaient en nuages à contours déterminés, me parurent des pronostics infaillibles d'un changement de temps ». *Voyage aux Rég. Equinox.*, t. I, ch. XIII, p. 607 éd. in-4°, ou t. IV, p. 244, éd. in-8°.

geaient entre de gros mamelons et non entre les nues et le sol.

Dans d'autres instants, l'épaisseur des nuages augmentait au-dessus de la cime; et dans ce cas, lorsque des mamelons de couleurs différentes étaient superposés, il arrivait quelquefois que le grésil et la neige tombaient mélangés en abondance, ce qui n'arrivait toujours qu'après une tourmente locale. Cette superposition devenait évidente, lorsque ces mamelons étaient passés, et qu'un intervalle libre les séparait des mamelons suivants. Lorsque la couche supérieure était peu considérable, et que les mamelons se dessinaient bien, il n'y avait un peu de mélange que dans les éclaircies qui les séparaient; mais le milieu de l'ondée n'était jamais produit que par de la neige seule ou du grésil seul, ce dernier étant toujours précédé d'un tourbillon de vent.

19. Le vent qui accompagnait les mamelons gris était toujours violent, tempêtueux, tourbillonnant, tandis que celui qui accompagnait les mamelons blancs était médiocre et assez régulier, souvent même il était nul. C'est dans de telles localités et au milieu de ces perturbations aériennes qu'on peut observer de près, et l'on pourrait dire, toucher de la main, les décharges partielles des diverses parties d'un *cumulus*. Non-seulement, les électromètres les plus paresseux dévoilent ces échanges, mais on entend leur sifflement, les cheveux se dressent; en élevant la main, on sent un picotement aux extrémités des doigts; le corps devient un conducteur tellement actif, qu'on ne peut plus s'approcher d'un électromètre pour lire son indication : le corps, en s'approchant, le jette au maximum de sa déviation. L'intermédiaire le plus constant de ces échanges sont les tourbillons qui s'agitent avec une grande rapidité entre ces mamelons ou petites nues de couleurs différentes, ou entre ces nuelles et le sol. Aussitôt que ces échanges ont eu lieu, la chute du grésil recommence, et son abondance correspond à l'intensité de la bourrasque.

20. Il est nécessaire, on le voit, pour l'intelligence des

phénomènes aqueux et électriques, de bien se pénétrer de la complexité de formation des nuages; d'avoir toujours présent à l'esprit que, depuis le simple globule élémentaire, jusqu'au plus gros *nimbus*, tous les corps constituants y ont conservé leur *individualité*, que tous, quel que soit le degré de leur complication, y ont conservé une indépendance plus ou moins limitée, suivant leur position et le groupe dont ils font partie. Dans la décharge électrique, dans les équilibrations nouvelles, comme dans leur résolution dernière, toutes ces *individualités* agissent pour leur propre compte, et l'effet définitif n'est que la résultante de cette innombrable complexité d'actions. Depuis la publication de mon Mémoire sur l'électricité atmosphérique, Mr. Faraday a fait connaître des expériences qui conduisent aux mêmes conséquences, celles de l'*individualité* des parties d'un nuage [1].

Chapitre III. — *Des moyens employés pour rendre visible l'état électrique de l'atmosphère.*

21. Nous allons maintenant nous occuper des phénomènes dont l'électricité est une partie intégrante.

Après que Franklin eut constaté le pouvoir des pointes, pour soutirer l'électricité des corps à distance, et lorsqu'il eut appliqué cette découverte à l'électricité des nuages, tous les physiciens l'ayant suivi dans cette voie, ils ne se sont servis que d'appareils armés de pointes, ou de la flamme de Volta, pour interroger l'état électrique de l'atmosphère. On ne s'est point aperçu que l'expérience, faite de cette manière, conduit à une fausse interprétation, et fait confondre comme unique, deux résultats opposés; qu'elle fait attribuer à l'atmosphère ce qui ne lui appartient pas.

Tout le monde sait, que lorsqu'on approche à quelque di-

[1] *Phil. Magaz.*, 1843, t. XXII, p. 200.

stance un corps neutre, d'un autre corps chargé d'une électricité libre, l'influence de cette dernière produit une nouvelle distribution dans l'*électricité naturelle* du corps neutre. L'extrémité voisine du corps électrisé se charge d'une électricité contraire à celle du corps influent, et l'autre extrémité devient le siége d'une électricité semblable. Si les corps sont bien polis, s'ils sont sans aspérités, il n'y a pas d'autre effet que cette nouvelle distribution de l'électricité naturelle dans le corps neutre; si on l'éloigne ensuite, et si on le retire de l'influence du premier corps, il redevient neutre dans toutes ses parties, comme il l'était avant l'expérience, et ne donne plus aucun signe d'électricité libre; il n'a rien gagné ni rien perdu dans cette opération, il n'a éprouvé qu'un déplacement passager dans son électricité naturelle.

22. Mais, lorsque le corps neutre se termine par une ou plusieurs pointes, ou mieux encore, par la mèche enflammée de Volta, le phénomène primitif ne se conserve pas; un nouvel effet vient en changer complétement la valeur. L'électricité, d'abord attirée par influence sur la portion en regard du corps électrisé, ne peut plus s'y conserver; elle s'en échappe par les pointes, elle *rayonne* vers l'autre corps où elle se neutralise, et le laisse ainsi dépouillé d'une portion de l'une des deux électricités qui constituaient son électricité naturelle. Si on retire ce corps de l'influence du premier, il ne retrouve plus sa neutralité première, il contient un excès d'électricité libre, celle qui avait été repoussée par le corps influent, et qui n'a pu ni se perdre, ni se neutraliser.

23. Dans cette expérience, il n'est plus possible de savoir si le corps neutre a seul perdu une portion de son électricité contraire, ou s'il a pris une portion de l'électricité libre du corps influent, ou enfin si ces deux effets ont eu lieu simultanément. Le corps électrisé perdant peu à peu son électricité libre en présence de ces pointes, on a été disposé à conclure que l'électricité passait du corps aux pointes, et à considérer l'instru-

ment comme un appareil de soustraction. On peut tout aussi bien armer le corps électrisé et lui présenter un corps poli ; le corps se décharge avec la même rapidité. Les pointes ne sont plus alors des instruments de soustraction, mais de déperdition et d'écoulement électrique. Ayant commis l'erreur de prendre pour un résultat primitif et simple, ce qui n'était qu'un résultat secondaire et complexe, et ayant porté ce même jugement sur l'électroscope atmosphérique, on a conclu également que toute l'électricité recueillie provenait de l'atmosphère, et que l'instrument était complétement passif dans ce phénomène.

24. Lorsque l'on eut tiré la conclusion que l'atmosphère possédait une électricité *vitrée* libre, on rechercha quelle en pouvait être la source. Volta, Lavoisier, la Place, de Saussure et d'autres physiciens, ayant obtenu une vapeur *vitrée* en projetant de l'eau sur des corps incandescents, ou au moins à des températures très-élevées, ils en ont conclu que la source permanente de l'électricité atmosphérique provenait de l'évaporation spontanée des eaux des mers et des terres humides, oubliant que celle qu'ils avaient obtenue en très-petite quantité, n'avait été recueillie que lorsque le corps possédait une haute température, très-éloignée de celle des mers et du sol. Sous l'autorité de tels noms et en l'absence d'une autre explication, ces conséquences furent reçues sans beaucoup d'examen, et on rendit raison des phénomènes rebelles par des explications accessoires. Parmi les faits contraires à cette théorie, nous citerons la formation des nuages chargés d'électricité résineuse, et l'affaiblissement des signes d'électricité *vitrée*, au moment même que les vapeurs s'élèvent de toutes parts, par l'influence de la température croissante de la journée. Si ces vapeurs spontanées étaient chargées d'électricité *vitrée*, elles devraient charger d'autant plus rapidement les électroscopes, que la quantité s'en accroît, et se comporter comme les brouillards blancs qui descendent jusqu'à la surface du sol [1]. Malgré ces contradic-

[1] Voyez notre Mémoire *Sur la formation des brouillards*.

tions, cette théorie fut accueillie et régna jusqu'en ces derniers temps, et règne encore dans les cours et dans les traités de physique; elle durera encore quelque temps, jusqu'à ce qu'une théorie plus en harmonie avec les faits se soit fait connaître de manière à lever tous les doutes.

CHAPITRE IV. — *Comment il faut interroger l'état électrique de l'atmosphère.*

25. On avait cessé toute recherche nouvelle sur l'origine de l'électricité de la vapeur atmosphérique, lorsque en 1835 je communiquai mes premières observations sur l'état électrique du globe, que je considérai comme un corps possédant une tension résineuse très-puissante. Depuis, en comparant mes expériences du cerf-volant électrique, à celles de Romas, du prince Gallitzin, de Muschenbroek, de Cavallo et d'autres, je m'assurai que partout les courants d'électricité vitrée étaient d'autant plus puissants que le cerf-volant montait plus vite; qu'ils diminuaient dans le repos, s'atténuaient dans une descente peu précipitée, et qu'enfin le signe changeait lorsque le cerf-volant descendait rapidement, le courant devenant résineux de vitré qu'il était auparavant. C'est alors que je repris les expériences de Saussure et d'Ermann avec l'électroscope, et je vis comme eux que si on l'élève, les feuilles d'or donnent un signe vitré, et que si on l'abaisse, elles en donnent un résineux. En opérant avec l'électroscope ordinaire, j'éprouvais des pertes électriques par les pointes, qui compliquaient le résultat primitif que je voulais connaître dans sa simplicité. Pour éviter ce sujet de complication, et séparer nettement ce qui provenait de l'influence, de ce qui pouvait provenir du rayonnement, je remplaçai la tige pointue de l'instrument, par une sphère de cuivre polie, de 12 à 15 centimètres de diamètre, afin d'augmenter les signes d'influence, et de diminuer le plus possible

tout rayonnement électrique[1]. L'électromètre étant ainsi terminé, peut être exposé à l'air et aux vents, lorsque l'atmosphère est pure, sans qu'il s'y manifeste le moindre signe électrique; il peut rester des heures entières à l'agitation de l'air, sans recueillir la moindre électricité. Mais si, au lieu de le laisser dans la même position, on élève l'électromètre de 4 à 5 décimètres, les feuilles d'or manifestent sur-le-champ une électricité vitrée, qui disparaît aussitôt qu'on le replace au point du départ. En second lieu, au lieu d'élever l'instrument, si on l'abaisse au-dessous du point où il fut équilibré, les feuilles d'or divergent encore; mais alors, c'est avec le signe résineux, et non avec le signe vitré qu'elles ont montré d'abord. Si on replace l'électromètre au point de départ, cette manifestation résineuse disparaît, comme a disparu la première, et les feuilles retombent à zéro.

26. Cette expérience, rendue ainsi à toute sa simplicité, ne pouvait laisser de doute sur les conséquences qui en ressortent: c'est que l'air n'entre pour rien dans le résultat; qu'il ne donne pas plus d'électricité vitrée quand on élève l'instrument, qu'il ne lui en donne de résineuse quand on le descend. Ce n'est plus qu'un effet d'influence, et cette influence ne peut provenir que du globe terrestre et non de l'atmosphère, puisque cette dernière, soit qu'on l'interroge au milieu des plaines, au sommet des monuments, ou sur la cime des montagnes, si elle est pure, ne cède jamais d'électricité à l'électromètre. En outre, ce qui vient corroborer la démonstration que l'air ne joue aucun rôle dans cette expérience, c'est qu'on peut rendre les feuilles d'or vitrées ou résineuses dans la même couche d'air, dans un point donné, en équilibrant l'instrument au-dessous ou au-dessus du point indiqué avant de l'y porter.

27. Ces expériences m'autorisèrent à poser en principe, que

[1] Voyez mon Mémoire *sur l'Electricité atmosphérique* dans les Ann. de Ch. et de Phys., 3e série, t. IV.

le globe terrestre est un corps chargé d'électricité résineuse, et que l'air sec et l'atmosphère sereine sont à l'état neutre, et ne communiquent à nos instruments aucune quantité appréciable d'électricité. Il n'en est plus de même lorsque l'atmosphère contient de la vapeur; cette dernière, disséminée dans l'air, possède une tension électrique variable, suivant l'heure de la journée, suivant la température, les saisons, les vents, etc. L'électricité de ces vapeurs est tantôt *vitrée* et tantôt *résineuse;* j'ai recherché la cause de ces changements de signe, et j'ai pu en indiquer la source permanente ou intermittente dans mon Mémoire précité. Je ne dois pas omettre une observation fort importante pour la météorologie, et sur laquelle j'ai insisté bien des fois dans mon traité des trombes. C'est celle que j'ai faite d'abord avec le cerf-volant électrique, et ensuite avec l'électromètre à la main, soit au-dessus de mon belvéder, soit sur la cime du Faulhorn. Ces expériences m'ont fait connaître que les vapeurs transparentes de l'atmosphère sont groupées en nuages distincts, comme les vapeurs opaques; que ces vapeurs ne sont pas uniformément répandues, comme on le croit généralement, mais qu'elles sont divisées en nues comme les autres vapeurs. Les nuages formés par la vapeur transparente sont plus étendus que les nuages opaques, ils sont moins divisés en petites parcelles; du moins, nos instruments ne manifestent pas les subdivisions infinies qui existent dans les nuages visibles. Ils sont séparés par des éclaircies, reconnaissables à la neutralité électrique qu'on y rencontre. Cette division ne peut laisser de doute pour celui qui a fait des expériences analogues aux nôtres. Je posai alors également en principe, que toutes les vapeurs, transparentes ou opaques, sont groupées en nuées distinctes, et que les mêmes phénomènes peuvent se reproduire dans les unes comme dans les autres, à l'intensité près et avec les modifications qu'y apporte la différence de leur densité et de leur conduction électrique. Nous suivrons, dans une autre partie

de ce travail, les phénomènes météorologiques qui dépendent de ces nues transparentes.

Chapitre V. — *De l'intensité des manifestations électriques suivant l'heure de la journée.*

28. De tous les phénomènes météorologiques, le plus inconstant, le plus rebelle à toute concordance numérique, est sans contredit celui des manifestations électriques de l'atmosphère. Les trois quarts, au moins, des observations diurnes, prises régulièrement aux mêmes heures, s'opposent à toutes les conclusions possibles : les anomalies les plus étranges en apparence viennent, à chaque instant, rompre l'ordre que l'on croyait entrevoir ; d'une heure à l'autre, souvent même d'un quart d'heure à l'autre, l'indication électrométrique varie de la manière la plus inattendue. Un nuage, une vapeur, un peu de brouillard, tout peut changer l'indication précédente, quelle que soit l'heure ou l'époque de l'année. Les moyennes qu'on tire de séries si divergentes, ne peuvent servir qu'à induire en erreur sur la marche réelle du phénomène élémentaire. Pour connaître quelle est cette marche, quelles sont ces variations normales diurnes et horaires, au lieu de prendre la moyenne de toutes les observations recueillies, comme on le fait pour celles des autres phénomènes météorologiques, il faut au contraire choisir celles qui appartiennent aux jours les plus purs, les plus sereins, lorsque l'air est froid et le vent sec. Pour la plus grande partie de la France, c'est le vent est et nord-est qui contient le moins de vapeurs, et qui donne conséquemment le moins d'anomalies.

29. En ne faisant usage que des observations des jours sereins, on est cependant parvenu à séparer la marche régulière des intensités électriques, de celle des perturbations nombreuses qui masquent la première. On a trouvé qu'il y avait deux *minima* et deux *maxima* électriques, pendant la durée d'un

jour, qu'ils variaient selon la saison, les vents, l'altitude, la situation géographique et la configuration des localités. L'électricité dévoilée dans ces jours sereins est toujours *vitrée* [1].

30. Le premier *minimum* se présente environ une heure avant l'apparition de l'aurore ; puis les manifestations électriques croissent à mesure que les rayons du soleil levant pénètrent les couches moyenne et inférieure de l'atmosphère, celles qui contiennent des vapeurs à divers états de condensation. Cet accroissement dans les signes électriques des jours sereins atteint son maximum vers 6 ou 7 heures du matin en été, vers 8 ou 9 heures au printemps et dans l'automne, et vers 11 heures en hiver. Cet accroissement s'arrête, lorsque les rayons solaires ont assez réchauffé le sol pour y reproduire une nouvelle évaporation de son humidité.

31. Cette manifestation *maximum* diminue ensuite jusque vers 5, 4 ou 3 heures de l'après-midi, selon la saison, et donne alors un second *minimum* qui cesse après une heure ou une heure et demie de durée. Les signes vitrés, reprenant faveur, augmentent leur manifestation à mesure que la température baisse, et produisent un second maximum vers 9 ou 10 heures du soir. Après cette heure, leur intensité diminue de nouveau, lentement d'abord, et atteint le premier *minimum* du jour suivant, pour continuer la même marche, s'il ne survient aucune perturbation.

32. Voilà le résultat que donnent les observations faites dans les jours sereins, dans les circonstances les plus dépouillées de toute complexité secondaire, ce qu'il n'est pas toujours facile d'apprécier, à cause de la présence des nuages transparents dont on ne peut tenir compte. On peut préjuger combien il est difficile, au milieu de tant d'éléments mobiles, de former des

[1] Voyez les Météorologies de Kæmtz et de Schübler; les Recherches de Read, de Beccaria, d'Achard, de de Saussure, d'Ermann, de MM. Arago, Clarke, et les miennes.

tableaux mensuels qui aient quelque valeur, et qu'il vaut mieux chercher à connaître la véritable marche du phénomène primitif par quelques observations isolées, faites au moment opportun, que de vouloir déduire des moyennes, de séries où les perturbations dominent si puissamment. Nous nous contenterons de citer quelques-unes de nos observations faites pendant des jours sereins.

33. Le 9 avril 1842, beau ciel, la température varia pendant les 24 heures, de 5 à 10 degrés; la moyenne barométrique fut de 763^{mm},35 à zéro; le vent nord-est, petit frais.

A 4 h. du matin, l'électromètre indiqua		+ 20°	proportionnels d'électricité vitrée.
à 7 h. 30′	id.	+ 74	
à 11 h.	id.	+ 13	
à 1 h. après-midi	id.	+ 4	
à 3 h. 45′	id.	+ 14,5	
à 5 h. 40′	id.	+ 22,5	
à 9 h. 30′	id.	+ 25	

Tous ces degrés sont proportionnels aux forces électriques. Après 10 heures, les signes diminuèrent d'intensité jusqu'au minimum du lendemain matin

34. Les signes d'électricité vitrée s'affaiblissent d'autant plus, pendant la journée, que l'évaporation est plus considérable; et j'ai souvent observé, pendant les belles journées d'été, 150 à 200 degrés au maximum du matin, et 3 ou 4 degrés au minimum de l'après-midi. Quelquefois même, le signe est renversé, et l'électromètre indique 10 ou 20 degrés d'électricité résineuse, sans qu'il y ait aucun nuage apparent qui puisse motiver ce changement; mais il arrive souvent que d'aussi grandes variations sont suivies d'orages. Voici quelques-unes de ces observations à grandes variations, recueillies à peu près au centre de Paris, à 30 mètres au-dessus du sol, sur une terrasse parfaitement dégagée de toute influence latérale: le baromètre est à 10^{m},5 du sol; la tension de la vapeur est tirée de la table de Mr. Gay-Lussac, à 10° de température.

DATES.	HEURES.	Baromètre réduit à zéro.	Température de l'air.	VENT.	Tension de la vapeur.	Tension électrique.	OBSERVATIONS ET ÉTAT DU CIEL.
1842 15 mars	7h 15' m.	mm 769,69	5°,5 C.	N.-N.-E.	69,59	+ 74°	calme, beau ciel, reste de brouillard, rosée abondante.
	11	770,05	12,0	S.-O.	53,76	0	id. vapeur qui voile le ciel.
	1 s.	769,28	13,5	E.	43,73	+ 23,5	id. beau ciel, vapeur rousse à l'horizon.
	3 20	768,68	14,0	N.-N.-E.	29,38	+ 36	id. id.
	9 30	769,00	10,0	N.-N.-E.	41,42	+ 373	id. id.
10 mai	5 30 m.	762,95	8	O.-N.-O.	56,74	+ 22,5	vent faible, beau, vapeur lie de vin à l'horizon.
	10	763,45	18	S.	43,73	0	calme plat, beau, vaporeux.
	0 30 s.	763,53	14,8	N.-E.	35,37	— 1	id. id. vapeurs à l'horizon.
	4	762,58	15,7	N.-E.	30,17	+ 1	id. id.
	7	762,88	14	S.-E.	33,57	+ 53	id. id.
20 mai	5 m.	753,06	10,5	O.	27,6	+ 244	beau.
	0 30 s.	753,74	20	S.-O.	27,6	0	id.
	4 15	753,59	17	S.-O.	20,16	+ 30	id. les cumuli se forment.
6 juillet	6 10 m.	761,32	16	O.	43,73	+ 37	vent frais, très-beau, quelques cirri blancs.
	11 30	762,53	23	S.-O.	32,66	— 382	id. id. cumuli blancs très-échelonnés.
	4 45 s.	762,92	21	O.	25,59	+ 7,7	id. id.
	8	764,00	18	O.	27,79	+ 337	vent, très-beau, vapeur roussâtre, soleil rouge.

35. On peut donc reconnaître, dans les jours favorables, deux minima et deux maxima, qui se présentent aux moments le plus en opposition avec la théorie admise. C'est aux heures où il y a le plus de vapeurs qui devraient être vitrées, que l'on rencontre le *minimum* du soir ; c'est aux heures où les vapeurs sont le moins abondantes, que se présentent les *maxima*. La cause que l'on a indiquée n'est donc pas admissible, et de nouvelles recherches devenaient indispensables.

CHAPITRE VI. — *De la cause réelle de l'électricité disséminée dans l'atmosphère.*

36. Pour résoudre cette question, j'ai repris l'ancienne expérience de Volta, Lavoisier et La Place [1], celle de Saussure [2] et celle plus nouvelle de Mr. Pouillet [3]. Ces trois expériences consistent, comme on le sait, à projeter de l'eau sur un corps porté à une haute température ; seulement Mr. Pouillet employa judicieusement un creuset en platine, au lieu d'un métal oxidable, comme l'avaient fait les premiers physiciens. Je n'employai également qu'un vase en platine, et au moyen des couples thermo-électriques, je mesurai la température du vase et celle du liquide projeté dedans. J'ai constaté qu'il y avait trois phases parfaitement distinctes dans le phénomène, et que c'était pour les avoir confondues que les physiciens précédents avaient été conduits à en tirer de fausses conséquences. Dans la première phase, l'eau se globulise en sphéroïde, et se maintient isolée du vase [4] ; quelle que soit la température de ce dernier, la sienne ne dépasse pas 77° à 80° [5]. Pendant que le liquide conserve cette forme sphéroïdale, et qu'il reste hors du contact du vase, aucune électricité n'est recueillie par l'électro-

[1] *Mém. Acad. Sc.*, 1781, p. 292. *Journ. Phys*, 1783, t. XXIII, p. 95.

[2] *Voyages dans les Alpes*, § 805 à 828.

[3] *Ann. Ch. Phys.*, 2e série, t. XXXV et XXXVI.

[4] Voyez les Mémoires intéressants de Mr. Boutigny (d'Evreux) sur le sphéroide d'eau, *Ann. Ch. Phys.*, 1843, t. IX, p. 350.

[5] *L'Institut*, 1841, p. 31.

mètre, malgré la vapeur qui s'élève du sphéroïde, et la diminution progressive de ce dernier [1].

37. Lorsque la température du vase s'est affaiblie, si le liquide projeté provient d'une dissolution saturée d'un sel, et s'il y a un commencement de dépôt cristallin sur le vase; ou bien, si la dissolution n'est pas saturée, et que le vase contienne quelques corps étrangers, tels que du verre pilé, etc., de petites portions du liquide peuvent descendre jusqu'au contact du vase, au moyen de ces corps intermédiaires, qui le touchent par une extrémité et plongent dans le liquide par l'autre; le vase, possédant une haute température, transforme subitement en vapeur la portion en contact, et cette vapeur prend la tension correspondante à la température qu'elle soustrait au vase; plus cette température est élevée, plus est grande la tension élastique de la vapeur qui est produite. Si, au moyen des cristaux de sel ou des fragments de verre, le contact a lieu lorsque le vase possède encore une température de 170 degrés, la vapeur qui en résulte a une tension de 8 atmosphères; si la température est de 158°,5, la tension est de 6 atmosphères; enfin, si le contact n'a lieu qu'à 120°,53, la tension élastique ne sera que de deux atmosphères. Cette haute tension de la vapeur renverse subitement l'obstacle liquide qui l'enveloppe, elle le projette au loin, se détend brusquement, et produit par sa vive expansion et le vide qui en résulte, une sorte de détonation, qui est bientôt suivie d'une seconde, née des mêmes circonstances, puis d'une troisième et ainsi de suite: les chocs successifs de ces explosions imitent assez bien le bruit des décrépitations d'un sel qu'on projette sur des charbons ardents.

38. C'est pendant cette seconde phase du phénomène, pendant la production et la série d'explosions des vapeurs à haute tension, que les signes électriques se manifestent. Ces manifestations sont d'autant plus énergiques que la vapeur a été formée

[1] *Comptes rendus*, 1840, t. II, p. 908; 1841, t. XII, p. 307. *Ann. Ch. Phys.*, 2e série, t. LXXV, p. 330, et 3e série, t. IV.

à une plus haute température, que sa tension élastique est plus grande, et sa séparation du liquide plus instantanée. Cette brusque séparation mettant sur le champ un intervalle isolant suffisant, entre la vapeur et le sphéroïde d'eau, l'état électrique, que prend tout liquide en changeant d'état, ne peut se recombiner en arrière avec l'électricité contraire appartenant au reste du liquide, la vapeur emporte l'électricité vitrée, et laisse à l'eau du vase l'électricité résineuse dans les cas les plus ordinaires.

39. Lorsque la température s'est abaissée au-dessous de 112 degrés, la vapeur qui se produit au contact n'a plus une tension élastique suffisante pour se projeter au loin et mettre l'espace isolant nécessaire entre elle et le liquide; l'électricité développée au moment de sa formation se neutralise aussitôt, et la vapeur n'arrive dans l'atmosphère qu'à l'état neutre. Quelle que soit la quantité de vapeur qui se forme à une température au-dessous de 110°, l'instrument ne recueille plus d'électricité libre. Telle est la troisième phase. Ce n'est donc ni dans la première, ni dans la troisième phase, qu'on recueille de l'électricité, dans les phases où la vapeur ne peut posséder qu'une tension d'une atmosphère ou d'une atmosphère et demie, mais seulement dans la seconde période, lorsque, au contact du liquide, il se forme une vapeur possédant une tension élastique au-dessus d'une atmosphère et demie.

40. Cette haute température, nécessaire au maintien des électricités libres, n'est pas, comme on le sait, celle de notre milieu ambiant; jamais la vapeur n'y possède une tension de plusieurs atmosphères; aussi jamais l'évaporation spontanée ne donne de signes électriques, lorsqu'elle n'est point soumise aux influences particulières dont nous allons parler. Ce n'est que pendant les vives éruptions des volcans, qu'il se produit des vapeurs chargées d'électricité; cette dernière se manifeste par des échanges lumineux avec celle du globe qu'elle foudroie, mais ce cas particulier rentre dans les vapeurs produites à haute tension[1].

[1] L'électricité des machines à vapeur n'a pas d'autre origine, elle n'est

41. L'évaporation spontanée ne pouvant donner d'électricité aux vapeurs, et celles de l'atmosphère en contenant des quantités considérables, j'ai dû rechercher leur véritable ori-

produite que lorsque des gouttes d'eau sont projetées hors de la chaudière, par une vapeur possédant une tension élastique de plusieurs atmosphères. Au moment où ces gouttes d'eau cessent d'être sous l'influence d'une haute température et d'une haute pression, elles changent subitement d'état, et passent en grande partie à l'état de vapeur à haute tension ; l'électricité libre qui se forme dans ce moment est entraînée rapidement dans l'espace et laisse au tube éjaculateur l'électricité contraire. L'espace interposé sur le champ, à l'instant même de cette séparation chimique, suffit pour maintenir ces deux électricités isolées, et permettre leur manifestation au moyen de nos instruments. Ce n'est point la vapeur formée dans la chaudière qui sort électrisée, car tant qu'elle est *sèche*, tant qu'elle n'est pas accompagnée de gouttes d'eau, il n'y a aucun signe électrique : l'électricité recueillie ne provient donc que de la vapeur nouvelle, formée aux dépens de l'eau projetée, et lorsque cette eau sort avec une température d'au moins 120 à 130 degrés. En répétant ces expériences avec une marmite à Papin, je n'ai pas vu d'autres phénomènes produits que ceux qui proviennent des expériences précédentes, ni d'autre cause de leur production. Le tube éjaculateur pourra jouer un rôle dans ce résultat, suivant sa conductibilité électrique, de même que les sels dissous dans le liquide. Plus le tube sera conducteur, plus il facilitera la neutralisation en retour de l'électricité produite; il en sera de même des dissolutions salines, leur conductibilité protégera ces neutralisations. Il en est tout autrement avec des tubes isolants et de l'eau distillée ; comme ils sont moins conducteurs, le retour des charges électriques sera moins facile et les tensions en resteront plus puissantes. Avec un vase ouvert, l'eau distillée ne donne pas de signe électrique au moment de sa transformation en vapeur, parce que cette transformation ne se fait alors qu'à une température voisine de 100 degrés ; aucun dépôt salin ne vient accélérer son contact avec le vase. C'est le contraire qui a lieu avec les chaudières à haute pression. Dans cet appareil, la présence de cristaux intermédiaires est indifférente, sous le rapport électrique, mais non sous celui de la production instantanée de vapeur à haute tension : quelle que soit la quantité d'électricité qui en est résultée, elle se neutralise avec les parois du vase. Ce n'est donc que l'eau projetée au dehors, possédant une haute température, qui se transforme sur le champ en une vapeur à haute tension, qui s'échappe avec rapidité et conserve ainsi une portion de son électricité de transformation. Plus les parties de l'appareil seront de mauvais conducteurs, et plus l'eau elle-même conduira mal, plus, dans ce cas, il restera d'électricité coercée dans cette nouvelle vapeur.

gine. J'ai démontré dans mon Mémoire précité, et dans mon Traité des trombes, que le globe terrestre est un corps chargé d'électricité résineuse; d'où je tirai la conséquence, que toute vapeur qui s'élève de sa surface est résineuse comme elle, et qu'elle ne peut être vitrée; je le prouvai par l'évaporation spontanée de l'eau placée au-dessus d'un corps résineux, et par l'expérience suivante faite à l'air libre, et sans autre force électrique que celle du globe.

42. Pendant un temps chaud, sec et très-pur, je lançai verticalement, au-dessus d'un belvéder élevé de 30 mètres, un filet d'eau qui retomba en gouttes sur le parapluie d'un électromètre placé près de lui et au niveau de la pompe foulante. Ces gouttes retombèrent chargées d'électricité *vitrée;* donc la vapeur qui s'était formée pendant ce court espace de temps, était *résineuse*. Pour constater que cet état vitré des gouttes tombantes était bien le produit de l'évaporation au-dessus d'un corps résineux, et non celui de la soustraction de l'électricité de l'atmosphère, je fis parcourir le même arc à une série de petits corps non vaporisables, comme de la poussière, des balles de sureau et enfin des balles métalliques: toutes retombèrent comme elles avaient été lancées, aucune ne donna à l'électroscope le plus petit signe électrique.

Lorsque la température est très-haute, l'air très-sec et très-pur, il suffit même de mouiller le parapluie d'un électroscope très-élevé pour obtenir des signes d'électricité vitrée, quoique l'oxidation donne au métal de l'électricité résineuse. Ainsi, contrairement à ce qui a été dit, toutes les vapeurs spontanées qui s'élèvent de la surface du globe sont résineuses et non vitrées[1].

[1] Il en est de même de la végétation: la forme des plantes et leur élévation facilitent beaucoup cette évaporation de leurs fluides sous l'influence électrique du globe. La vapeur produite est plus résineuse encore que celle des plaines, fait qui découle naturellement de leur stature et de leur forme aigue; mais on peut le constater dans de belles journées électriques, au moyen d'un plan d'épreuve, en touchant l'extrémité

43. Les conséquences de ces nouvelles expériences se présentent d'elles-mêmes : c'est qu'à mesure que les vapeurs résineuses se disséminent dans l'atmosphère, elles réagissent de haut en bas avec une puissance analogue à celle du globe qui agit de bas en haut. Nos mesureurs d'électricité, ayant le grave défaut de n'indiquer que les différences des réactions électriques, et non la tension absolue que possèdent les corps, il en résulte, que leur manifestation diminue avec la dispersion des vapeurs dans l'air ambiant, et que lorsque ces vapeurs réagissent avec la même puissance que celle du globe, l'instrument marque zéro, quoiqu'il soit plongé dans une atmosphère fortement chargée d'électricité. Voilà pourquoi les manifestations électriques de nos instruments diminuent pendant tout le temps que la température et les vapeurs augmentent.

Chapitre VII. — *Causes des variations dans la distribution de l'électricité dans l'atmosphère.*

44. La réaction de haut en bas de chacune des particules de vapeur ne maintient son effet maximum, que pendant l'ascension continue de la température ; ce n'est que pendant cette augmentation croissante de la chaleur de l'atmosphère, que les particules de vapeur conservent assez d'indépendance individuelle pour garder, sans transmission, la charge électrique qu'elles ont emportée. Mais aussitôt que cette augmentation cesse, aussitôt que la puissance hygrométrique de l'air s'arrête dans sa marche ascendante, les vapeurs nouvelles qui ne ces-

des feuilles supérieures, ou au moyen de courants qu'on obtient en plaçant une lame de platine près de la touffe feuillue d'un peuplier très-élevé, dont on a retranché les autres branches, et une seconde lame plongeant dans le sol. On réunit ces deux lames par des conducteurs et un rhéomètre sensible. Si l'atmosphère est chargée avec quelque intensité, ou si un nuage électrisé passe au-dessus de l'arbre, l'aiguille dévie sur le champ et indique de quelle nature est l'électricité ascendante.

sent pas encore de se produire, se rapprochent du point de saturation; la conductibilité électrique s'en accroît; l'action incessante du globe, qui jusqu'à ce moment n'avait pu vaincre que médiocrement l'inconductibilité de l'air et des vapeurs, agit alors avec plus de succès, elle repousse l'électricité résineuse de la couche inférieure des vapeurs, et cette électricité ainsi repoussée se coerce dans les couches superposées où sa tension s'accroît considérablement, comme l'indique la couleur des strates gris qui en proviennent.

45. Après le coucher du soleil, l'atmosphère se refroidit rapidement, la vapeur condensée devient plus conductrice encore, l'électricité résineuse obéit plus facilement à la répulsion du globe, la couche inférieure de l'atmosphère devient alors vitrée, comme tout corps conducteur le devient sous l'influence d'un autre corps chargé d'électricité résineuse. Nos électromètres, n'étant plus entourés de réactions semblables, reprennent leurs manifestations électriques; placés au-dessus d'un corps résineux, au milieu et au-dessous de vapeurs vitrées, la divergence vitrée qu'ils présentent devient considérable, et leur tension est d'autant plus grande que la vapeur inférieure est elle-même plus électrique. Sous cette double influence, la tension indiquée par les électromètres dépasse de beaucoup celle qu'on obtient dans les jours purs et sereins : et en effet, dans ce dernier cas, l'action du globe influence seule de bas en haut l'instrument; mais lorsque la vapeur inférieure est devenue vitrée, son action en sens contraire, de haut en bas, s'ajoute à la première, et la divergence de l'aiguille de l'électromètre croît avec sa puissance. C'est le résultat de cette double action concordante, du globe résineux et des vapeurs vitrées, qui produit le maximum du soir.

46. A cet instant de la journée, les vapeurs qui se sont formées depuis le lever du soleil, sont divisées en deux couches distinctes : la couche inférieure qui est très-vitrée, et qui paraît sous la forme d'un brouillard blanc et laiteux, si la vapeur est

suffisamment condensée pour prendre la forme globulaire; et la couche qui lui est superposée, à une hauteur d'environ 1500 à 2000 mètres; cette dernière est fortement résineuse, et elle prend une teinte grise ardoisée, d'autant plus foncée que la tension résineuse y est plus considérable. Cette distinction électrique des nuages blancs et des nuages gris est un fait nouveau d'une grande importance, que j'ai introduit dans la météorologie. On peut constater ce fait très-facilement au moyen des cerfs-volants électriques, ou sur les hautes montagnes avec l'électromètre à la main, ou enfin, pendant les tempêtes et les orages, lorsque de gros nuages gris descendent près de la surface de la terre.

47. Pendant la nuit, la couche de vapeur inférieure se résolvant peu à peu, son action vitrée diminue avec elle; une autre cause y concourt également, c'est la meilleure conduction électrique de l'air qui permet son écoulement dans le sol. La divergence de l'électromètre, qui avait été très-grande vers les 9 ou 10 heures du soir en été, diminue donc jusque vers 3 heures du matin où elle atteint un nouveau *minimum*. En effet, vers cette heure, la couche inférieure a déposé une partie de ses vapeurs, et a laissé s'écouler dans le centre commun la plus grande partie de l'électricité vitrée des couches superposées. Cette diminution des vapeurs vitrées n'a pas pour seul effet l'amoindrissement de leur influence sur la surface du sol; mais elle a encore celui de laisser une plus libre réaction de haut en bas aux vapeurs résineuses de la région moyenne. Ce double effet, d'une diminution de l'action vitrée des vapeurs inférieures et de l'augmentation de l'action résineuse des vapeurs supérieures, atténue la résultante électrique près du sol, et ne provoque qu'une faible divergence dans les électromètres.

48. Aussitôt que les premiers rayons du soleil font sentir leur influence sur l'atmosphère, aussitôt que la température des couches moyennes se relève, il en résulte une nouvelle altération dans la conductibilité des vapeurs et dans la distribu-

tion de l'électricité. Sous l'influence d'une température plus élevée, les vapeurs opaques repassent à l'état de vapeurs élastiques, elles subissent une véritable évaporation nouvelle. Ce changement d'état se fait sous l'influence répulsive et persistante du globe, de telle sorte que les nouvelles vapeurs élastiques formées sont surchargées de l'électricité résineuse repoussée, et laissent alors les vapeurs inférieures qu'elles abandonnent avec la tension vitrée que le voisinage de la terre leur a fait prendre; cette tension sera d'autant plus forte que la révaporation aura été plus rapide. Les électromètres reprennent alors une plus grande divergence vitrée, et atteignent leur *maximum* lorsque la vapeur inférieure a été dépouillée le plus possible d'électricité résineuse, et avant que d'autres vapeurs se soient élevées du sol.

49. Les vapeurs transparentes ont aussi éprouvé leur somme de condensation par le refroidissement de la nuit, et leur conduction électrique s'en est accrue dans une proportion équivalente. Cette conduction nouvelle, quoique inférieure à celle des vapeurs opaques, a également facilité la propagation électrique dans leur masse; une partie de l'électricité résineuse, repoussée par le globe, s'est coercée dans les couches supérieures, et lorsque les premiers rayons du soleil les atteignent, et que leur température se relève, elles se dilatent et s'élèvent, emportant avec elles l'électricité résineuse qu'elles ont reçue des couches inférieures, de sorte que ces dernières deviennent vitrées, comme dans l'exemple des vapeurs opaques, et leur action, s'ajoutant à celle de la terre, la divergence des électromètres augmente. A Paris, au-dessus des habitations et sur une terrasse dégagée de toute influence latérale, à une hauteur de 30 mètres, ce maximum arrive, dans l'été et pendant les jours normaux, vers 6 ou 7 heures du matin. Plus tard le soleil a déjà suffisamment réchauffé le sol pour qu'il s'en élève de nouvelles vapeurs résineuses. Ces nouvelles vapeurs neutralisent d'abord la tension vitrée des précédentes; puis, en s'accrois-

sant, elles réagissent résineusement de haut en bas, comme cela avait eu lieu le jour précédent, et atténuent de nouveau l'action du globe. Telles sont les causes immédiates des deux *minima* et des deux *maxima* électriques, pendant les jours ordinaires, lorsque aucune perturbation n'en vient altérer la marche.

50. C'est à cette évaporation et à cette dilatation du matin des vapeurs atmosphériques, que je rattache un autre phénomène bien connu, mais qui n'a pas encore été suffisamment expliqué: c'est celui de l'abaissement de la température au moment du lever du soleil. J'ai observé que ce phénomène croît avec la révaporation des vapeurs, et que l'intensité du froid correspond aux jours et aux instants où cette nouvelle évaporation est le plus grande. De même qu'au moment de sa formation la vapeur élastique complète son calorique latent au détriment du liquide qu'elle abandonne, l'eau restante étant toujours plus froide que l'air ambiant, de même cette nouvelle vapeur, produite au milieu de l'atmosphère, complète son calorique latent au détriment du reste des vapeurs dont elle se sépare, et produit ainsi un abaissement de température dans les couches inférieures de l'atmosphère.

Chapitre VIII. — *Des vapeurs soudaines qui apparaissent au-dessus des rivières, et du fumage des montagnes.*

51. On sait que, lorsque la température s'abaisse rapidement dans l'hiver, il s'élève des brouillards au-dessus des rivières et des étangs. Ce phénomène, pris dans sa généralité, n'a pu présenter aucune difficulté pour son explication : c'est la reproduction de la buée de vapeur qui paraît au-dessus de l'eau bouillante; c'est la condensation des vapeurs élastiques par le refroidissement qui les fait dépasser leur point de saturation. Ce phénomène ne laisserait rien à désirer, si son apparition était toujours régulière, étendue, couvrant des espaces identiques,

où les différences de température entre l'eau et l'air sont les mêmes.

52. Il n'en est pas toujours ainsi : on voit quelquefois des vapeurs s'élever dans des endroits très-circonscrits et y rester attachées, quoique l'eau courante qui en a fourni en passant ait cessé de faire partie de ce lieu. D'autres fois, ces colonnes de vapeur changent de place, mais sans suivre le cours de l'eau; on en a vu s'incliner et s'avancer contre le vent, tel fut le brouillard du 20 janvier 1776, cité par Messier [1], qui parut au milieu de la Seine à Paris. La vapeur qui le constituait remontait la rivière, quoique le vent fût nord-est ; tandis que, le 27 suivant, un semblable fumage eut encore lieu, mais cette fois la vapeur obéit au vent qui était resté au même rumb. Ces phénomènes locaux sont très-communs dans les mers polaires ; on voit la brume sortir d'un espace très-limité, lorsque l'atmosphère ambiante conserve sa transparence.

53. Cette production subite d'une vapeur visible, ce fumage des lieux humides, n'obéissant pas à l'impulsion des vents, est toujours assez rare dans les plaines, tandis que c'est un phénomène journalier, horaire même, autour des cimes des hautes montagnes.

54. Ce phénomène, si commun dans les Alpes et dans les Pyrénées, a reçu plusieurs explications dont aucune ne l'embrasse tout entier ; on en explique quelques parties et non toutes les phases.

55. On sait que des flancs des montagnes, le plus souvent dans des points très-élevés, à des distances médiocres de leurs sommets, apparaît une vapeur opaque simulant la fumée qui sort lentement d'une cheminée. Quelquefois cependant ce phénomène se montre à mille mètres et plus, au-dessous. Au moment de leur sortie, ces vapeurs sont transparentes, à l'état élastique ; mais à peine sont-elles hors du flanc de la montagne,

[1] *Mém. Acad. Sc.*, 1776.

qu'elles prennent la forme globulaire et deviennent opaques. Lorsque la quantité produite est insuffisante pour atteindre le degré de la saturation hygrométrique de l'air, elle passe inaperçue et n'est pas comptée dans le phénomène qui nous occupe.

56. L'explication qu'on a donnée de ce phénomène, repose sur l'évaporation spontanée de l'humidité qui règne sur le flanc des montagnes, et sur la température du sol qui est supérieure à celle de l'air ambiant. C'est cette différence entre les deux températures, dit-on, qui transforme sur le champ la vapeur élastique en vapeur opaque, ce qui constitue le phénomène tel qu'il apparaît. Ce n'est, dit-on, qu'un résultat d'humidité locale et de refroidissement.

57. Plusieurs raisons nous font rejeter cette explication : 1° Le fumage n'a pas toujours lieu lorsqu'il y a une grande différence entre la température du sol et celle de l'air ; 2° ce phénomène paraît le plus souvent lorsque cette différence est peu considérable, lorsque le ciel est couvert et le vent au sud-ouest ; 3° l'évaporation spontanée ne rendrait pas raison de la couleur du nuage sortant, ni de son changement de teinte après sa sortie ; 4° elle est insuffisante aussi pour rendre raison de l'altération que les nuages placés au-dessus du sommet éprouvent dans leur propre teinte ; 5° enfin cette explication ne peut rendre raison de leur immobilité, de leur persistance dans leur accolement aux flancs des montagnes, au milieu des agitations de l'air, ni des intermittences dans leur production pendant un espace de temps assez court. Nous allons rapporter le résultat de nos observations sur ce phénomène, et prouver qu'il provient de la seule puissance électrique.

58. Le fumage des montagnes est toujours précédé et accompagné d'une haute tension électrique dans les vapeurs qui dominent leurs cimes, et l'abondance du fumage est proportionnée à cette tension. Le nuage qui sort du flanc de la montagne est blanc, lorsque la tension électrique des vapeurs supé-

rieures est résineuse, et il est gris lorsque cette tension est vitrée : en d'autres termes, le nuage est vitré dans le premier cas, parce qu'il a été formé sous l'influence d'un nuage supérieur résineux, et il est *résineux* dans le second cas, parce que sa formation s'est effectuée sous l'influence d'un nuage supérieur *vitré*.

59. La couche supérieure de ces nouveaux nuages se divise en longs filaments soyeux, pennés, tremblotants, qui s'élèvent et disparaissent en passant à l'état de vapeur élastique. Le vent ne déplace pas, ou ne déplace que très-peu ces filets ascendants ; une force plus puissante les retient droits et les attire. Cette force est celle de l'électricité du nuage supérieur, qu'il soit à l'état de vapeur élastique ou à l'état de vapeur globulaire, peu importe. Cette résistance au cours du vent se retrouve en grand dans plusieurs trombes dont j'ai fait la relation dans mes recherches sur ce météore [1]. Je reproduis en petit cette partie du phénomène, en faisant agir la tension d'une sphère électrisée sur un nuage de bulles de savon [2] : on voit ces dernières s'allonger vers la sphère et disparaître en passant à l'état de vapeur élastique, quel que soit le courant d'air qu'on interpose dans l'espace qui sépare les deux corps. Les vapeurs qui s'élèvent ainsi vers un corps électrisé emportent une électricité contraire et laissent celle de même nom au reste du liquide ou du nuage opaque.

60. Si le nuage supérieur est vitré, celui qui sort du flanc de la montagne est alors résineux et paraît d'une teinte d'un

[1] *Recherches sur les Trombes*, §§ 217, 225, 237, etc. Voyez aussi de Saussure, *Voyages dans les Alpes*, § 2071, et la relation de la trombe du 14 novembre 1826, sous un ciel serein dans le Canal d'Irlande. *Edinb. new Phil. journ.*, t. II, p. 192. Mr. de Humboldt a souvent observé ces mouvements onduleux dans les nuages ; quant à leur cause, il émet plutôt des doutes qu'une indication positive. *Voyage aux Régions équinox.*, t. I, ch. 2, p. 144. Ed. in-4°, ch. 13, p. 607, etc.

[2] *Ann. Chim. Phys.*, 3e série, t. IV. *Recherches sur les causes, etc.*, p. 385, § 48.

gris cendré; son électricité résineuse étant attirée par la vitrée du nuage superposé, se porte vers la couche la plus élevée dont elle augmente la tension; la teinte grise de cette couche supérieure se fonce davantage, l'évaporation s'en accélère, et les vapeurs produites s'élèvent chargées de cette haute tension résineuse. Cette électricité surnuméraire provenant des portions centrales du nuage, il en résulte deux effets particuliers qu'il faut distinguer. Le premier est de diminuer la tension électrique de chacun des globules opaques, et en conséquence de cette diminution, il y a une moindre répulsion réciproque des globules de vapeur, et une moindre attraction du nuage qui les domine. Il résulte de cette double atténuation électrique, une condensation des vapeurs et la résolution d'une portion en une bruine qu'on voit tomber au-dessous du nuage secondaire, en longs filaments. Plus les ramifications et l'agitation supérieures sont considérables, plus la bruine qui tombe au-dessous est abondante, prouvant ainsi la rapidité des neutralisations électriques qu'éprouve ce dernier nuage.

61. Le second effet est le changement de couleur du nuage sorti de la montagne; à mesure que son électricité résineuse s'écoule, sa couleur grise diminue d'intensité, il prend peu à peu un blanc plus ou moins argenté. Le phénomène s'arrête lorsque toute la masse a pris une couleur claire et uniforme, et lorsque les stries supérieures ont cessé de paraître; la bruine inférieure a suivi cette décroissance, et on cesse de la voir tomber.

62. Le nuage gris superposé a changé également d'aspect; si la vapeur était transparente, elle devient opaque, très-blanche d'abord, puis elle perd peu à peu de son éclat, à mesure que les échanges électriques ont lieu entre lui et les stries du nuage inférieur. S'il est opaque, la seule transformation qu'il éprouve est celle de la diminution de sa blancheur. Ayant ainsi perdu sa haute tension électrique par ces échanges, il n'est plus suffisamment retenu par l'influence de la montagne, et obéit

alors aux vents auxquels il avait résisté : de gros flocons s'en détachent, et parfois il abandonne lui-même le sommet qu'il avait dominé quelque temps. Par la neutralisation de son électricité, ses vapeurs se sont également condensées, et il arrive souvent qu'une portion se résout et tombe en pluie.

63. Ces observations démontrent, en outre, que les vapeurs chargées d'électricité sont plus dilatées que celles à l'état neutre, et que, conséquemment, cette puissance répulsive intérieure en retarde la résolution. Et en effet, chacun des globules repoussant les globules voisins et en étant repoussé comme tous les corps chargés d'électricité semblable, la dilatation de la masse est plus grande qu'elle ne l'est à l'état neutre, et elle devient ainsi un obstacle à la résolution. Mais par suite des neutralisations électriques, les globules se rapprochent, la condensation normale reprend son empire. Voilà pourquoi le ciel se couvre si rapidement après les premiers coups de tonnerre, ou après les premiers coups de vent, qui produisent les uns et les autres de nombreuses neutralisations électriques ; voilà pourquoi les ondées suivent également ces deux moyens de décharges électriques.

Chapitre IX. — *Du courant tropical et de son influence électrique.*

64. La division des vapeurs diurnes serait assez simple, si d'autres ne venaient compliquer le phénomène : les nuages gris seraient maintenus plus élevés par la seule action répulsive du globe, et leurs vapeurs, au lieu de former des strates amincis, s'étendraient en hauteur. Mais il y a une autre influence provenant d'une puissance électrique de même nature, qui les repousse de haut en bas, et les tient ainsi enserrées entre deux forces semblables et opposées dans leur direction. Cette seconde puissance résineuse vient du courant tropical qui domine toutes les vapeurs diurnes.

65. On sait qu'entre les tropiques, l'air chaud et les nombreuses vapeurs qui s'en élèvent toute l'année, se déversent de chaque côté de l'équateur, en formant vers l'un et l'autre pôle un courant permanent dans une région très-élevée de l'atmosphère. Ces vapeurs, comme toutes celles qui s'élèvent du globe, sont chargées d'électricité résineuse, et donnent à ce courant tropical une puissance de réaction de haut en bas, qui contrebalance l'action de la terre, dans une proportion dépendante de sa hauteur et de sa tension. Cette couche de vapeurs supérieures, malgré sa distance du sol, n'en subit pas moins l'influence du globe, et tout en restant résineuse par rapport aux vapeurs diurnes et à la surface du sol à cette distance, une partie de l'électricité de sa couche inférieure est repoussée et va augmenter la tension négative des couches plus élevées, les plus dilatées et les plus rares, et pour lors les plus aptes à recueillir et à conserver la surabondance électrique qui leur parvient successivement.

66. L'atmosphère chaude et vaporeuse forme, entre les tropiques, un large anneau qui se sépare longitudinalement, et dont chacune des moitiés s'avance, l'une vers le pôle austral, et l'autre vers le pôle boréal. En s'avançant ainsi vers un point polaire, chacune de ces moitiés se concentre dans des aires d'autant plus restreintes qu'elles sont plus rapprochées du pôle. Cette diminution des aires circulaires augmenterait énormément et son épaisseur et sa condensation, si des résolutions successives n'en diminuaient à chaque instant la masse pendant tout le temps de sa pérégrination.

67. Trois causes concourent à la résolution des vapeurs tropicales : 1° le refroidissement ; 2° la neutralisation de leur électricité au moyen des vapeurs diurnes qui s'élèvent jusqu'à elles ; 3° leur progression vers des espaces plus resserrés. Ces vapeurs, devenues trop pesantes par la condensation, s'abaissent et perdent de nouveau une portion de leur électricité résineuse dans leur mélange avec les vapeurs diurnes les plus éle-

vées. Leur répulsion intérieure diminuant avec la perte de leur électricité, la condensation s'en accroît ainsi que leur pesanteur. Ayant atteint leur degré de saturation par cette succession d'écoulement électrique et de condensation, elles se transforment en vapeurs opaques, et elles se rapprochent de nouveau de la terre; leur conductibilité devenant plus grande encore, la périphérie du nuage acquiert une haute tension résineuse, qui apporte le trouble et l'agitation dans l'atmosphère inférieure. C'est sous cette forme qu'on voit tout à coup ces vapeurs, massées en gros nuages foncés, apparaître dans nos contrées centrales vers les mois de novembre, décembre et janvier. Ces grosses masses grises sont accompagnées de vents violents et de tempêtes diluviales. En raison de leurs condensations successives et de leur abaissement, ces nuages tempêtueux se reproduisent plus régulièrement dans les contrées polaires du 55ᵉ au 68ᵉ degré de latitude dans l'hiver, et du 70ᵉ au 80ᵉ dans l'été. C'est à peu près entre ces limites que, selon la saison, se terminent les dernières portions des vapeurs condensées du courant tropical; au delà le calme reparaît, et le ciel a repris sa sérénité au-dessus des brumes basses qui s'élèvent de la mer.

68. Au delà de ces limites, les vapeurs restées dans l'atmosphère y sont à l'état solide; et comme elles proviennent des couches les plus élevées, où l'électricité résineuse a été le plus repoussée et où elle s'est le plus coercée, leurs particules possèdent une très-haute tension électrique, de beaucoup supérieure à celle des vapeurs des nuages gris. Leur dilatation, leur répulsion réciproque et leur solidité s'opposent à leur résolution; et lorsqu'elles sont forcées de se rapprocher du globe par leur refoulement dans une aire trop étroite, elles possèdent une puissance électrique qu'il nous serait impossible de reproduire avec aucun de nos moyens actuels, à cause de l'action des corps voisins et de la conduction de l'air humide inférieur.

69. L'aire qui les contient se rétrécissant de plus en plus, en s'approchant du pôle, leur condensation devient inévitable

et par la plus basse température et par l'effet mécanique que produisent les nouvelles vapeurs gelées, arrivant sans cesse *a tergo*. Les globules glacés se rapprochent donc, mais sans se confondre ni se résoudre; cependant ce rapprochement favorisant la transmission électrique, leur neutralisation se fait par une suite de décharges de parcelle à parcelle, des couches les plus élevées aux plus inférieures qui communiquent au sol. Ce sont ces décharges nombreuses, de parcelle glacée à parcelle glacée, ces décharges d'une haute tension électrique, qui s'étendent des régions les plus élevées à la masse inférieure qui repose sur le sol; c'est, dis-je, cette série d'étincelles électriques brillantes, qui passent de glaçon à glaçon, comme dans les tubes étincelants on voit la décharge du premier losange se reproduire jusqu'au dernier, ce sont ces immenses quantités de décharges instantanées et successives qui constituent le phénomène polaire qu'on nomme *aurore boréale*. C'est par la neutralisation des dernières parcelles du courant tropical, surchargées d'électricité résineuse et sous la forme de glaçons, que se crée et se développe ce beau et grand phénomène de la nature. Tous ces glaçons tombent alors sur la surface de ces plages gelées, et concourent à former ces immenses morceaux qui s'en détachent pendant l'été, et qui s'avancent vers les régions plus méridionales.

Chapitre X. — *Distribution des vapeurs diurnes sous la double influence résineuse du sol et du courant tropical.*

70. Les vapeurs diurnes, placées ainsi entre deux forces semblables et agissant en sens contraires, se divisent en trois couches bien distinctes. La plus inférieure, celle qui reçoit le plus immédiatement l'influence résineuse du globe, devient vitrée. La portion la plus voisine du sol, ne peut, il est vrai, garder longtemps son électricité, sa proximité en facilite trop l'écoulement; il n'y a que la zone placée à quelque distance qui

se trouve assez isolée pour conserver une partie de la sienne. Las vapeurs inférieures, en prenant la forme globulaire, deviennent blanches et humides; elles forment les brouillards ordinaires, qui se résolvent si facilement en rosée ou en bruine par l'attraction du globe.

71. La cause qui développe dans les vapeurs inférieures une électricité vitrée, se retrouve dans le courant tropical, chargé comme le globe d'électricité résineuse : il repousse de haut en bas l'électricité résineuse des vapeurs diurnes, comme la terre la repousse de bas en haut. La portion la plus élevée de ces vapeurs, étant ainsi soumise à une influence résineuse, se charge aussi d'électricité vitrée. En devenant opaques, ces vapeurs prennent une teinte d'un blanc éclatant, et forment ces beaux *cumuli* ou *cirri* brillants qui apparaissent à une grande élévation.

72. Les vapeurs qui reçoivent l'électricité résineuse, repoussées de haut en bas et de bas en haut, s'étendent en larges bandeaux ardoisés qui ne peuvent acquérir une grande épaisseur, étant contenus par ces deux forces antagonistes [1].

73. Ainsi les vapeurs diurnes, celles qui s'élèvent chaque jour dans toutes les contrées et qui se disséminent entre le sol et le courant tropical, se divisent en trois couches nettes et distinctes. La plus inférieure constitue les vapeurs transparentes ou opaques fortement chargées d'électricité vitrée; elles reçoivent le nom de brouillard lorsqu'elles ont pris la forme visible et globulaire. La seconde couche forme ces strates gris, ar-

[1] Une expérience facile à répéter démontre cette distribution. Entre deux globes isolés et communiquant l'un et l'autre à une machine électrique, on place un conducteur isolé, terminé par deux boules distantes de 3 ou 4 décimètres des globes. On charge ces derniers d'électricité résineuse, et l'on interroge ensuite la distribution de celle du conducteur au moyen d'un plan d'épreuve : on trouve que les deux extrémités sont devenues vitrées et le milieu résineux; si on décharge les globes, le conducteur redevient neutre, s'il n'a pu perdre par aucune aspérité l'électricité attirée.

doisés, allongés, ayant peu d'épaisseur, dans lesquels s'est coercée toute l'électricité résineuse. Enfin la couche des cumuli ou cumulo-strati blancs, qui remplissent l'espace entre les strates gris et le courant tropical.

74. Dans un milieu aussi mobile que l'atmosphère et soumis à tant d'influences diverses, cette triple distribution n'a de stabilité que pour la succession des vapeurs dans le temps et dans l'espace, et non pour celles qui forment actuellement cette triple superposition. Ainsi, la zone inférieure vitrée garde peu de temps toute sa tension; son voisinage du sol fait perdre rapidement aux premières couches leur électricité, et accélère leur résolution; les couches qui sont superposées aux premières, conservent mieux leur état vitré, étant protégées par un espace qui les tient isolées; mais les changements de température, les neutralisations provenant de la zone résineuse, le passage de la pluie qui les traverse, ne leur laissent également qu'une stabilité très-précaire et qui n'est jamais de longue durée.

75. Lorsque, par l'abaissement de la température, les vapeurs ont cessé de s'élever et d'aller alimenter la zone supérieure, les cumuli qui y sont suspendus disparaissent peu à peu, sous la forme de vapeur élastique. Cette nouvelle transformation se fait d'autant plus rapidement, que l'air, à cette hauteur, est plus sec et que l'action électrique du courant tropical est plus intense.

76. Les vapeurs vitrées inférieures, celles qui se présentaient sous la forme de brouillard, s'étant résolues en bruine ou en rosée, les vapeurs vitrées supérieures visibles, ayant repassé à l'état de vapeurs élastiques, il ne reste plus dans l'atmosphère que les vapeurs grises et ardoisées que l'on voit seules, le soir et la nuit, étendues en longs rideaux opaques. Leur tension résineuse les a préservées de la force additionnelle de l'électricité, pour accélérer leur transformation en vapeur élastique. Entourées d'une électricité de même nature que le globe et que le courant tropical, la répulsion qu'elles éprouvent de chaque

côté retarde leur révaporation, elles ne repassent à l'état de vapeurs élastiques que lorsque, les nuages blancs et vitrés ayant subi cette transformation, l'air est encore loin de la saturation : elles changent d'état par la seule force d'affinité hygrométrique, et non avec l'aide des attractions électriques, comme cela a lieu pour les deux autres zones.

77. En raison de leur pesanteur spécifique, les nuages blancs supérieurs ne peuvent se résoudre en bruine ascendante sur le courant tropical, comme les brouillards se résolvent en bruine descendante. Suspendus au-dessus des strates gris, ces nuages en ressentent l'attraction, et leur position dans l'espace en est altérée. D'un autre côté, cette attraction réciproque des cumuli blancs supérieurs et des strates gris inférieurs, en raison de leurs électricités dissemblables, les enchaîne souvent les uns aux autres, et l'on voit alors au-dessous de chaque cumulus, une plaque grise ou strate résineux qui le suit dans toutes ses directions. La teinte obscure de ces strates, placés inférieurement, a été prise pour un effet d'ombre, et cela a paru si naturel aux physiciens, qu'ils ont accepté cette explication sans un plus ample examen. Cette explication cependant ne pouvait se soutenir devant un seul jour d'observation, et il est vraiment extraordinaire qu'elle ait encore quelque cours. Il suffisait de prolonger l'observation assez avant dans la nuit, pour constater que les strates gris restaient seuls, lorsque tous les cumuli avaient disparu, dans les belles nuits du printemps et de l'été. On en retrouve même le matin des portions non révaporisées, qui impriment leurs taches obscures jusque dans les rayons colorés de l'aurore. Les peintres, moins préoccupés des explications que les physiciens, n'ont pas commis cette erreur : ils ont bien vu et ils ont bien rendu dans leurs tableaux, ces longues bandes noires, qui coupent un ciel pur en arrière, et dont l'intensité de teinte croît avec la diminution de leur volume.

Chapitre XI. — *De la participation de l'air dans les phénomènes électriques.*

78. L'air pur, étant composé de substances isolantes, ne peut servir à la conduction électrique ; chacun de ses atomes ne peut agir qu'en prenant, au contact des vapeurs, une portion de leur électricité libre. Ces atomes repoussés ensuite, comme tout corps isolé, fuient le corps électrique, ainsi que le démontre l'expérience de Volta avec des balles de sureau. L'air ainsi repoussé, après s'être chargé d'électricité, vient la déposer sur le sol et y reprendre sa neutralité. Etant devenu attirable de nouveau par le nuage, il s'y recharge une seconde fois, il en est repoussé, il vient encore déposer sur le sol sa charge électrique, pour recommencer une troisième fois, une dixième fois, etc., faisant ainsi partie d'un tourbillonnement atmosphérique entre le globe et la nue orageuse.

79. Cet effet des corps isolés et libres, placés entre un corps électrisé et un autre qui ne l'est pas, ou qui l'est à un moindre degré ou par de l'électricité contraire, cet effet, disons-nous, se démontre avec facilité dans le cabinet, soit qu'on se serve de balles de sureau comme Volta, soit qu'on se serve de cendre sèche de bois blanc ou de feuilles d'or, comme je l'ai fait. (Traité des Trombes, chap. 8, 9 et 10). Il se reproduit en grand, lorsqu'un de ces nuages isolés, qu'on nomme *grains*, traverse une plaine sablonneuse ou couverte de poussière ; tous ces corps légers, attirés et repoussés successivement, produisent une tourmente locale, un tourbillonnement continuel, qui n'a d'étendue que celle de l'influence du *cumulus*, et qui laisse dans le calme toute l'atmosphère environnante.

80. Nous pourrions citer un grand nombre d'orages où cet accord a existé à un très-haut point entre la violence des rafales et la tension électrique des nuages. Nous nous contenterons de rappeler celui du 18 juillet 1841, sur lequel j'ai fait une

courte communication à l'Académie des Sciences, le 26 suivant. — La pluie était puissamment résineuse, chaque goutte d'eau qui touchait un disque extérieur, faisait sauter les feuilles d'or d'un électromètre avec lequel il était en communication. La tension électrique varia plusieurs fois, et la force des bourrasques varia comme elle. Dans le plus fort de la tempête, mes feuilles d'or furent déchirées et projetées contre les armatures; les courants étaient si intenses, que si cette tempête eût eu lieu la nuit, je pense que la pluie eût paru lumineuse au contact des corps terrestres. Lorsque la pluie fut moins électrique, le vent baissa et changea bientôt de côté; un de mes multiplicateurs eut son aiguille intérieure désaimantée.

81. Je pourrais tirer de mon Traité des Trombes, un grand nombre d'exemples de la puissante action électrique des nues orageuses ou trombiques sur les corps terrestres : l'enlèvement des corps les plus lourds aussi bien que des plus légers, en leur imprimant un mouvement de tourbillonnement, mouvement que j'ai représenté dans mes expériences. Je me contenterai d'un seul fait, d'une seule observation faite par Mr. Breguet fils et par moi, à mi-chemin de Corbeil à Champcueil, parce que ce fait ne permet pas d'y lier l'action du vent comme cause. Le 19 avril 1840, Mr. L. Breguet et moi, partîmes de Paris vers 11 heures 1/2 du matin, pour Champcueil à 6 myriamètres de cette ville. Le temps était chaud et calme, le ciel assez pur, n'offrant que quelques *strati* qui disparurent dans la journée. Nous vîmes le long de la route beaucoup de petits tourbillons qui s'élevaient sans qu'on sentît un souffle de vent, et qui changeaient souvent de vitesse et de direction dans leur marche. Dans un espace qui n'avait pas plus de deux mètres de côté, quatre petits tourbillons parurent à un mètre et demi de distance l'un de l'autre, et formèrent un carré; ces quatre tourbillons, tout en conservant leur individualité, formèrent un plus gros tourbillon, en prenant un mouvement d'ensemble, comme autour d'un axe placé au centre. Ainsi, dans un carré de deux

mètres de côté, il y avait cinq directions de giration. Je ne pense pas que personne voulût chercher dans le vent la cause de ces mouvements divers qui étaient exécutés dans un carré de deux mètres. (Obs. et Rech. exp. sur les Trombes, p. 316.)

82. Non-seulement ces phénomènes locaux ne proviennent pas des vents extérieurs, comme on le répète encore si souvent, mais ils ne proviennent pas davantage de la condensation de l'air placé dans l'ombre du nuage. Si l'on observe de loin et d'une certaine élévation la marche d'un *grain* au-dessus de la mer, on voit celle-ci clapoter au-dessous, et il règne dans l'atmosphère une violente agitation, limitée dans un rayon qui dépasse peu celui du nuage orageux. La pluie qui en sort est projetée en avant avec une grande force; et lorsque ce *grain* s'approche de vous, on sent que les rafales en proviennent, et la bourrasque a pendant quelques moments une telle intensité, qu'elle peut renverser les arbres. Une telle violence momentanée dans l'agitation de l'atmosphère, s'avançant de dedans en dehors, précédée et suivie d'un calme complet, ne peut être occasionnée par la condensation régulière d'une portion d'air placée sous l'ombre du nuage. Au lieu d'une projection de dedans au dehors, on sentirait une petite brise du dehors en dedans, qui irait remplir le faible vide produit par la condensation. De plus, tout nuage produirait le même phénomène, puisque tous projettent une ombre; c'est encore ce qui est contraire à l'observation.

83. Toutes les fois qu'un gros *cumulus* ne donne pas des signes d'une haute tension résineuse, qu'il n'est pas d'un gris foncé dans son strate inférieur, il n'y a ni *grain* ni tempête, tout le phénomène se renferme dans une petite brise de dehors en dedans. Si le cumulus est blanc, sans strate gris au-dessous, ou avec un strate gris insignifiant dans sa couleur et dans son épaisseur, ne formant qu'une légère couche de vapeur cendrée, les signes électriques sont alors vitrés; et si l'air est sec et peu conducteur, il y aura un léger mouvement atmosphéri-

que ; il y aura entre le sol et lui quelques échanges, mais ils n'auront jamais la violence de ceux des nuages plombés. Il en doit être ainsi, car quelle que soit la sécheresse de l'air, celui-ci conserve toujours une certaine conductibilité électrique par les vapeurs qu'il contient ; l'action concordante de la tension résineuse du globe avec la tension vitrée du nuage, facilite la neutralisation de leurs électricités contraires, et jamais un nuage vitré ne peut conserver, près du sol, une tension égale à celle des nuages gris et plombés. Ces derniers ne peuvent décharger leur électricité que lorsque leur pesanteur spécifique les a tellement rapprochés de la surface, que la portion qui leur est subordonnée cesse d'être résineuse par leur influence prédominante, et l'échange a lieu alors avec le surcroît de tension que les nues ont conservé, sans en rien perdre, jusqu'à *leur* arrivée près du sol. Ces décharges se faisant par des conducteurs insuffisants, la violence de la perturbation remplace ce qui manque à la conduction électrique du milieu interposé.

84. Les observateurs placés sur la surface du globe se trouvent dans la région où la force attractive du sol, pour l'air chargé d'électricité contraire, agit avec le plus d'énergie. L'attraction électrique décroissant rapidement avec les distances, son action est bien plus puissante sur les couches inférieures que sur celles qui suivent ; il en résulte, que les premières se précipitent avec plus de rapidité que celles qui les suivent ; et il se forme ainsi une dilatation momentanée, aussitôt que les bourrasques se font sentir. Le sympiézomètre accuse cette dilatation par la marche de son index vers l'extrémité ouverte ; la dépression est d'autant plus grande, que le coup de vent qui suit est plus violent. Dans les grandes tourmentes, au moment des rafales, le baromètre lui-même accuse cette dépression ; mais un sympiézomètre, 2 et 300 fois plus sensible, donne des indications bien plus étendues, très-utiles à consulter dans ces moments d'agitation atmosphérique.

Chapitre XII. — *De la grande puissance statique des nuages, du roulement du tonnerre et de la grêle.*

85. En concevant que chacun des globules opaques, et que chacune des particules de vapeurs élastiques, conservent leur *individualité;* en concevant celle de chacun de leur groupement en *petits flocons*, tous délimités par une sphère éthérée, comme les globules le sont entre eux; en concevant le groupement de ces petits flocons en *flocons plus gros*, la réunion de ceux-ci en *mamelons*, la réunion des mamelons en *nuelles* (petites nues), celle des nuelles en *nuages définis*, le groupement des nuages définis en un *cumulus*, de plusieurs *cumuli* enfin en *nimbus;* en concevant cet immense amas d'*individualités* à tous les degrés de complexité, toutes possédant et coerçant une sphère électrique indépendante, en équilibre de réaction entre elles, et toutes agissant pour leur propre compte sur les corps extérieurs; il en résulte, que la tension statique d'un tel corps est d'une puissance immense, infiniment supérieure à l'intensité de la décharge qui provient de la sphère extérieure seule. Cette sphère électrique n'est qu'une faible portion de la somme retenue par toutes ces *individualités*. Aussi son effet dynamique ne répond-il jamais à l'effet statique du nuage entier, lorsqu'il s'approche assez du sol pour agir avec toute sa puissance. Chaque année en fournit quelques exemples; nous ne citerons que l'orage du 8 juillet 1839, qui éclata aux environs de Triel, département de Seine-et-Oise. La foudre tomba sur un gros chêne, sous lequel les nommés Pion père et fils s'étaient abrités; le fils fut tué, mais le père, attiré comme un corps léger, fut enlevé et transporté à 23 mètres de distance, et déposé dans une touffe de châtaigniers[1].

86. Nous rappellerons aussi le fameux orage du 11 juillet

[1] Recherches sur les Trombes, § 318.

1819, qui causa tant d'accidents dans l'église de Châteauneuf pendant qu'on officiait : outre les neuf personnes qui furent tuées, un grand nombre des assistants furent enlevés et transportés hors de l'église. (Ann. Ch. Phys., t. XII, p. 354, 2e série.)

87. Dans les nuages surbaissés en trombes, la puissance de la tension statique est telle, qu'il suffit de rappeler que des murs de cellier furent enlevés de leur fondation, que les dalles d'une plate-forme parfaitement cimentées furent arrachées, que toute l'eau de plusieurs étangs fut attirée avec tous les poissons, grenouilles, herbes et vase, etc., etc., que de hauts chênes furent déracinés et portés à des distances considérables. Cette puissance prodigieuse de l'électricité statique des nues est la conséquence de toutes les puissances isolées et agglomérées ; elle est la somme de toutes ces forces agissant chacune pour leur propre compte. Cet *isolement*, cette *individualité* de chacune des parties élémentaires d'un nuage, et de chacun des groupes formés par ces parties, s'oppose à l'écoulement instantané de leur électricité, lorsque celle de la périphérie du nuage s'élance en étincelle ; celle-là seule forme le coup de foudre, et aucune portion intérieure n'a pu y concourir. Mais après que la décharge extérieure a rompu l'équilibre de toutes ces réactions répulsives de dedans en dehors et de dehors en dedans, il s'opère une série de décharges partielles, comme nous l'avons déjà dit, entre toutes les composantes de la nue générale ; d'abord entre les nuelles, puis entre les mamelons d'une même nuelle, ensuite entre les flocons d'un même mamelon, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toutes les réactions se soient équilibrées de nouveau, et qu'elles aient rendu à la périphérie la sphère générale qui entoure la masse totale et qui seule avait été déchargée par l'éclair. Ce sont ces échanges intérieurs, ce sont ces décharges partielles entre les nues agglomérées du *nimbus*, dont l'équilibre de réaction a été rompu par la première décharge, ce sont, disons-nous, ces décharges multipliées en

tous sens et par les nues elles-mêmes, et par leurs nuelles, leurs mamelons et leurs flocons, qui produisent le roulement et le renflement du tonnerre sans qu'il y ait eu intermittence. C'est de la quantité de ces décharges intérieures, de leur rapprochement ou de leur éloignement de l'observateur, variables et variant à chaque échange, que le bruit tantôt paraît s'éloigner et tantôt paraît se rapprocher.

88. Lorsqu'à la suite de ces décharges intérieures, la sphère générale d'électricité du *nimbus* est reformée, lorsque la périphérie a réparé ses pertes, et qu'elle est arrivée à une nouvelle tension puissante, c'est alors qu'un nouvel éclair apparaît, qu'un nouvel échange électrique s'opère à distance, et qu'il reproduit un second coup de tonnerre.

89. A mesure que les décharges intérieures s'effectuent, que la tension électrique des parties constituantes diminue, leur répulsion s'affaiblit; une portion des vapeurs globulaires se condense et se résout en gouttes liquides; elles ont abandonné une portion de leur électricité aux vapeurs restantes, et leur ont rendu une partie de leur première tension. La portion qui s'est condensée, qui s'est résoute en gouttes, forme une ondée de courte durée, et qui cesse aussitôt que la tension électrique redevient suffisante pour maintenir le reste du nuage à l'état de vapeur.

90. Lorsqu'une nouvelle décharge extérieure rompt l'équilibre de réaction, lorsque la série de décharges intérieures reproduit la sphère électrique du nuage, une nouvelle condensation s'effectue, de nouvelles résolutions ont lieu et une nouvelle ondée tombe du *nimbus*. Cela se reproduit jusqu'à ce que la sphère périphérique ne puisse plus acquérir une tension suffisante pour se décharger à distance : l'orage est alors terminé.

91. La grêle est aussi un produit de cette haute tension statique entre deux nuages superposés, dont l'un est chargé d'é-

lectricité résineuse et l'autre d'électricité vitrée. La théorie de Volta est celle qui rend le compte le plus satisfaisant de ce phénomène ; cependant, il est toujours resté des doutes dans les esprits, parce qu'il y a trois faits dont elle n'explique pas bien l'origine. Le premier est l'abaissement de température nécessaire à la congélation, au milieu de l'été et à des hauteurs médiocres. Le second est la succession des couches de glace qu'on remarque dans les grêlons, ainsi que leurs épines et leurs arêtes ; enfin le bruit éclatant qui précède quelquefois la chute de la grêle. Dans mes recherches sur les trombes, j'ai consacré un chapitre à ce phénomène ; je rappelle d'abord que l'influence électrique augmente considérablement l'évaporation des liquides. La puissante action statique des deux nuages en présence produit une attraction considérable entre eux ; elle revaporise alors subitement une portion des vapeurs opaques, transformation qui ne peut s'opérer qu'en prenant aux vapeurs restantes le calorique latent qui lui est nécessaire. Cette évaporation nouvelle est donc une cause puissante de refroidissement pour les vapeurs restantes, et il croît en raison de la rapidité de la transformation.

92. Parvenues au point de la congélation, les couches en regard des deux nuages opposés passent en partie à l'état de neige. Entre des corps solides, l'échange électrique ne peut plus se faire par le seul rayonnement : chaque flocon est attiré par le nuage contraire, comme corps solide ; il s'en approche, l'humidité dont il est imprégné et qu'il emporte du nuage, obéit à l'attraction supérieure ; elle se porte au dehors, une portion se vaporise et emporte du calorique au reste du liquide, qui se congèle alors ; ce n'est plus en spicules neigeuses, puisqu'il n'y est plus sous la forme globulaire, mais en croûte glacée. La neutralisation ayant eu lieu, le flocon et sa croûte retombent dans le nuage inférieur, où ils reprennent et de l'électricité et de l'humidité. L'attraction ayant lieu de nouveau, le même effet se reproduit, l'eau de mouillage obéit à cette at-

traction, une partie se volatilise, l'autre se refroidit et se congèle : le même jeu recommence jusqu'à ce que la puissance attractive supérieure soit affaiblie au point de ne pouvoir plus faire équilibre avec la pesanteur des grêlons.

93. L'eau de mouillage que chaque grêlon emprunte au nuage inférieur, lorsqu'il retombe au milieu de ses vapeurs, ne peut pas se vaporiser par toute sa surface, mais par la portion seule qui est en regard du corps attirant. Il en résulte que cette eau y forme un petit cône, comme on le reproduit au-dessus d'une boule de verre mouillée ; sa congélation forme alors une pointe ou une arête, selon la force et la direction de l'attraction électrique. Ces protubérances augmentent à chaque transport, si le grêlon présente la même surface ; ou il s'en forme d'autres, s'il ne se présente plus par le même côté. La multitude des incidents électriques entre ces forces en présence modifie ou étend ces pointes ou les arêtes, et il en résulte les formes les plus diversifiées, selon la position que prennent successivement les grêlons. Je renvoie, pour plus de détails, au chapitre 16 de mon ouvrage sur les trombes.

94. Quant au bruit qui précède l'averse de grêle, il ne peut être l'effet de leur choc, comme on l'a dit ; ces corps sont trop petits, et trop peu résistants pour produire un éclat comme celui qui précède leur chute ; ce bruit ne peut être que le résultat d'une série de décharges électriques, soit entre les grêlons déjà formés et chargés de puissantes électricités contraires, dans les rencontres qui ont lieu pendant leur pérégrination d'un nuage à l'autre ; soit entre les flocons ou mamelons rapprochés. Plus ce bruit est considérable, plus il indique quelle est l'énormité de la tension électrique des vapeurs ; conséquemment, il est en même temps l'indication d'une plus grande rapidité dans l'évaporation électrique, dans le refroidissement qui en résulte et dans l'accroissement des grêlons. Aussi a-t-on remarqué que ce bruit ne précède que la chute des gros grêlons, parsemés d'aspérités très-allongées.

95. Dans un Mémoire prochain, je traiterai de l'influence de l'électricité sur la pression atmosphérique, sur la suspension des vapeurs, lors même que l'électricité libre ne se manifeste pas; sur la formation de la rosée; j'aborderai ensuite les lumières anomales, les bolides et les étoiles filantes.

DES LOIS QUI PRÉSIDENT A LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE DES CORPS, par Mr. Edmond BECQUEREL. (Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 4 mars 1844.)

Première partie.

Une combinaison de deux ou plusieurs éléments ne peut se laisser traverser par un courant électrique sans être décomposée, de sorte que la conductibilité électrique des dissolutions est intimement liée avec leur pouvoir décomposant. Je ne crois pas devoir revenir sur cette loi qui a été bien établie par les travaux de Mr. Faraday et de mon père. Mais par cela même que la combinaison qui sert à transmettre le courant est décomposée, il faut savoir si cette décomposition a lieu en proportions définies, suivant la théorie chimique des équivalents, car les conséquences qu'on peut déduire de ce principe sont très-importantes pour la constitution moléculaire des corps.

Mr. Faraday a montré que si l'on transmet le même courant à travers plusieurs dissolutions, par exemple, de nitrate d'argent, de nitrate de cuivre, de nitrate de plomb, etc.... (en réunissant les appareils décomposants, comme l'indique la *fig.* 8, *pl. III*, par les pôles de nom contraire), on trouve aux pôles négatifs des quantités de métal proportionnelles à leurs équivalents chimiques; qu'ainsi pour 395,7 de cuivre précipité au

pôle négatif, dans le premier appareil, on a 1351,61 d'argent dans le deuxième, et 1294,5 dans le troisième appareil décomposant, ces trois nombres étant les équivalents chimiques de ces métaux.

On ne peut pas conclure immédiatement de ces expériences que des quantités atomiques équivalentes de ces sels ont été décomposées par le courant ; car on peut objecter que le dépôt métallique, au lieu d'être le résultat direct de la décomposition électro-chimique du sel, est dû à une action secondaire provenant de la décomposition d'une même quantité d'eau dans les différents appareils, et à la réduction, par l'hydrogène à l'état naissant aux pôles négatifs, de quantités proportionnelles de métal. Nous verrons, dans le courant de ce Mémoire, que si cet effet secondaire a lieu quelquefois, on ne l'observe pas dans la plupart des cas.

Le seul moyen de soumettre cette loi à un examen rigoureux serait de prendre les combinaisons anhydres et fondues ; mais, outre la difficulté qu'on éprouve à opérer à une haute température, il n'y a que peu de corps qui se prêtent à ce mode d'expérimentation, et, le plus souvent, le métal qui se précipite au pôle négatif est altéré, soit par la combinaison que l'on soumet à l'action du courant, si ce n'est pas un protosel, soit par l'élément électro-négatif qui se porte au pôle positif et se dissout dans la masse fondue.

Au surplus, nous verrons plus loin qu'il y a des solutions aqueuses dans lesquelles le sel dissous est seul décomposé, et que, dans d'autres circonstances, à l'aide d'un principe trouvé par mon père, on peut parvenir à se garantir de la décomposition de l'eau en augmentant de beaucoup la masse du corps dissous par rapport à celle-ci. (Becquerel, *Traité d'Electricité*, tome VI.)

Mr. Matteucci (*Bibliothèque Universelle de Genève*, 1839, tome XXI) a entrepris quelques expériences pour savoir jusqu'à quel point on pouvait compter sur la loi donnée par Mr. Fa-

raday, en faisant passer le courant à travers des combinaisons maintenues à l'état de fusion ; Mr. Matteucci a reconnu qu'on pouvait analyser les effets produits avec le protochlorure d'antimoine, mais nullement avec les deux chlorures de cuivre, parce que ces deux dernières substances, à l'état de fusion, attaquaient le cuivre métallique précipité au pôle négatif. A l'aide des expériences faites sur ces trois corps, l'un (le protochlorure d'antimoine) fondu, les deux autres en dissolution dans l'eau, il a cru pouvoir modifier comme il suit la loi de Mr. Faraday :

« Si un courant électrique décompose simultanément trois combinaisons mises séparément sur sa route, la première renfermant 1 équivalent d'un corps combiné avec 1 équivalent d'un autre corps ; la deuxième, 1 équivalent combiné avec 2 équivalents ; la troisième, 1 équivalent combiné avec 3 équivalents (exemples, les deux chlorures de cuivre et le protochlorure d'antimoine), on trouve que l'action chimique sur chacune de ces combinaisons, mesurée par la quantité d'éléments séparés, varie comme 1, $^1/_2$, $^1/_6$. »

Mr. Matteucci n'a établi cette loi que parce qu'il a trouvé aux pôles négatifs, dans les trois expériences, 1 équivalent de cuivre, 2 équivalents de cuivre et $^1/_3$ d'équivalent d'antimoine. Mais de ces trois expériences, comme je le démontrerai par un grand nombre de résultats, les deux premières seules sont exactes ; dès lors, les conclusions précédentes doivent être modifiées. Mr. Matteucci a publié, en outre, plusieurs Mémoires où il a examiné l'action décomposante de l'électricité sur plusieurs sels fondus, comme je le dirai plus loin ; mais les résultats ne l'ont conduit à aucune loi simple.

Les recherches dont je viens de parler sont les seules qui aient été faites sur ce sujet. On peut voir, du reste, qu'elles étaient trop incomplètes pour pouvoir donner des résultats sur lesquels l'électro-chimie pût compter. C'est ce motif qui m'a engagé à reprendre cette question. J'ai d'abord été arrêté

quelque temps, parce que, voulant opérer sur des combinaisons anhydres fondues, les résultats ne m'ont semblé satisfaisants que dans très-peu de circonstances, d'après ce que j'ai dit précédemment ; mais je n'ai pas tardé à voir que, dans certains cas, en employant des solutions aqueuses, la décomposition électro-chimique, quoique ayant toujours lieu en proportions définies, se portait entièrement sur le sel dissous, de sorte que j'ai pu opérer avec toute sécurité sur ces dissolutions.

Chapitre I. — *Des combinaisons binaires.*

§ 1. *Des chlorures métalliques.* — J'ai commencé par examiner l'action du courant sur les combinaisons binaires, et, parmi celles-ci, j'ai pris les chlorures métalliques, comme étant celles qui se prêtent le mieux à l'action décomposante de l'électricité. Ces combinaisons, en effet, permettent de doser le métal qui se précipite au pôle négatif et le chlore qui se porte au pôle positif.

Parmi les chlorures métalliques, quelques-uns sont fondus, et, lorsqu'ils sont fondus, se laissent traverser par le courant. On peut citer les chlorures de plomb, d'argent, les deux chlorures de cuivre, le protochlorure d'antimoine ; d'autres, tels que le perchlorure d'étain, d'antimoine, de manganèse, de titane, etc., sont liquides à la température ordinaire, mais non conducteurs de l'électricité. Pour tous les chlorures fondus, j'ai constamment remarqué qu'à moins que l'on n'opérât très-rapidement en faisant usage d'un courant assez énergique, capable de donner 2 à 3 centimètres cubes de gaz par minute dans le voltamètre placé sur la route du courant, le chlore qui se porte au pôle positif reste en partie dans la masse, et vient attaquer le métal précipité au pôle négatif ; je n'ai pu avoir alors des résultats satisfaisants. J'ai donc été forcé de prendre ces substances en solution dans différents liquides, et de chercher à séparer les deux lames décomposantes en les mettant dans deux vases différents.

Voici la disposition que j'ai adoptée (voyez *Pl. III, fig.* 1 et 2) : *A B* est le plateau d'une machine pneumatique sur lequel repose une cloche *A C B* munie d'un robinet en *C*, et percé de deux ouvertures en *F* et *G*, qui permettent d'introduire le fil métallique dans l'intérieur de la cloche ; sur *A B* on place deux petits verres de 20 centim. cubes à peu près, et qui sont destinés à recevoir le liquide sur lequel on veut expérimenter ; les liquides des deux vases communiquent l'un avec l'autre à l'aide d'un petit siphon *a b c*, qu'on amorce quand les vases sont remplis. Deux tubes pleins de mercure, *m*, *m'*, sont placés à côté des deux verres, et servent à faire communiquer deux lames décomposantes *l*, *l'*, qui plongent dans les verres, avec les fils métalliques qui traversent la cloche en *F* et *G*. La lame négative est généralement de platine, et l'autre peut être de différents métaux. Du reste, dans chaque circonstance, j'indiquerai la nature de ces lames décomposantes. A l'aide de cette disposition, on peut décomposer un liquide placé dans les deux vases, et les éléments transportés aux deux pôles restent dans chacun de ces vases. Pour maintenir les lames fixes dans les vases, et empêcher que de légers mouvements ne fassent tomber des dépôts métalliques peu cohérents (comme cela arrive avec le plomb), une disposition assez commode est de mettre sur le bord des vases deux bouchons *D*, *E* fendus qui pincent les fils de platine contre les bords de ces vases.

Ce mode d'opérer peut généralement s'appliquer à tous les liquides conducteurs de l'électricité altérables à l'air ; car, après avoir fait le vide dans la cloche *A C B*, on peut y introduire un autre gaz. Cet appareil communique avec un voltamètre ou appareil à décomposer l'eau, *fig.* 2, dans lequel on recueille les deux gaz, oxigène et hydrogène, dans la même éprouvette. Ainsi, dans chaque circonstance, c'est la quantité d'eau décomposée, évaluée par le volume de gaz dégagé, qui mesure la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné par l'appareil. Ce gaz, qui est un mélange d'hydrogène et

d'oxigène, ramené à 0 degré et à $0^m,76$ de pression, en faisant la correction relative à la vapeur d'eau, pèse $0^{mm},537$ pour chaque centimètre cube; de sorte que, pour avoir la quantité d'eau décomposée, il suffit de mesurer le gaz en centimètres cubes, de ramener ce gaz à 0 degré et à $0^m, 76$, et de multiplier le nombre obtenu par $0^{mm},537$.

C'est le meilleur procédé et le plus exact pour mesurer la quantité d'électricité qui traverse une solution dans un temps donné; car, lorsqu'on opère à l'aide de courants capables de donner au moins 1 ou 2 centimètres cubes de gaz par minute, dans le voltamètre chargé avec de l'eau acidulée, la quantité de gaz dissous par l'eau est inappréciable.

Il est nécessaire d'employer, pour lames décomposantes dans le voltamètre, des lames de platine de 1 centimètre de largeur sur une longueur de 1 à 2 centimètres.

J'appellerai aussi équivalent d'électricité la quantité d'électricité sous forme de courant qui décompose 1 équivalent d'eau.

On a vu plus haut que, dans les chlorures fondus, le chlore vient attaquer le métal qui se précipite, attendu qu'il faut maintenir ces sels à l'état de fusion. On ne peut donc pas employer l'appareil décrit plus haut. Dans ce cas, il faut placer simplement le sel dans un vase, tel que *A B*, *fig.* 3, ou dans une capsule, maintenir les deux électrodes au milieu de la masse, et opérer rapidement.

Comme exemple, et c'est cependant de tous les sels fondus celui qui se prête le mieux à ces recherches, je citerai une expérience faite avec le protochlorure d'antimoine anhydre $An\,Cl^3$ qui fond à une température assez basse.

En opérant avec une petite pile de 30 éléments faiblement chargée, on a eu en dix minutes 8 centimètres cubes de gaz dans le voltamètre, et 18 milligrammes d'antimoine au pôle négatif dans le protochlorure fondu; à 8 centimètres cubes de gaz mélangé correspond $8 \times 0^{\text{milligr.}},537 = 4^{\text{milligr}},3$ d'eau décomposée.

Or, comme l'équivalent de l'eau est 112,5, et celui de l'antimoine 806,45, si 1 équivalent d'antimoine s'est déposé au pôle négatif, on doit avoir pour le poids de ce métal 112,5 : 4,3 :: 806,45 : X, X = $30^{\text{milligr.}}$,9.

Or, au lieu de 30^{milligr},9 on ne trouve que 18 milligram., c'est-à-dire un nombre un peu plus petit que les $^2/_3$ de $30^{\text{milligr.}}$,9, qui est $20^{\text{milligr.}}$,6.

Or, comme nous le verrons plus loin, en opérant sur une solution de ce corps dans l'acide chlorhydrique, on aurait dû trouver exactement $20^{\text{milligr.}}$,6; près de 3 milligrammes ont donc été dissous par le chlore mis en liberté à l'autre pôle [1].

J'ai donc dû prendre les chlorures en solution dans l'eau ou dans les acides; et si l'on a soin de ne mettre que la très-petite quantité d'eau nécessaire pour dissoudre les chlorures, alors, la masse du sel étant très-grande par rapport à celle de l'eau, l'action décomposante de l'électricité se porte généralement sur le chlorure, et nullement sur l'eau, lorsque le courant surtout est peu énergique; ce qui le prouve, c'est qu'on voit le métal, ou un protosel, se porter au pôle négatif, et du chlore seul au pôle positif. Si l'eau était décomposée, il y aurait de l'oxigène ou de l'acide chlorique à ce pôle.

Ce résultat est une confirmation de la loi des masses trouvée par mon père, qui démontre que lorsqu'un courant traverse un mélange de deux sels décomposés par son action, si l'on augmente la masse du sel qui est le moins décomposable par rapport à l'autre, celui dont on augmente la masse est seul décomposé; en outre, le rapport entre les masses est différent pour les divers sels, et varie avec l'intensité du courant. Avant

[1] Mr. Matteucci, dans le Mémoire précédemment cité, a trouvé pour l'antimoine un nombre qui n'est que le 1/3 de son équivalent, mais il a été évidemment trompé par l'effet dont j'ai parlé. S'il eût opéré sur le protochlorure d'antimoine dissous dans l'eau acidulée (beurre d'antimoine), il eût trouvé au pôle négatif un nombre qui est les 2/3 de l'équivalent de l'antimoine.

de citer les résultats obtenus, on doit établir une distinction entre les chlorures, et les classer en protochlorures et perchlorures.

Protochlorures. — Les protochlorures dissous, soumis à l'action du courant, sont en général décomposés immédiatement; le métal se précipite au pôle négatif, et le chlore se dégage au pôle positif. On peut donc, en employant un courant de moyenne intensité, capable de donner de 0,5 centimètre cube à 2 c. c. de gaz par minute, avoir le métal au pôle négatif et le doser.

Pour cela, quand la lame de platine recouverte de métal est séchée avec soin, on la tare dans une balance, on dissout dans un acide, et l'on voit la quantité de métal enlevée.

J'ai ainsi obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

(*Voyez le tableau page* 232.)

Les protochlorures $R\,Cl^2$ formés de 1 équivalent de base et de 1 de chlore donnent, au pôle négatif, exactement 1 équivalent de métal pour 1 équivalent d'électricité.

Les protochlorures $R^2\,Cl^2$ formés de 2 équivalents de métal pour 1 de chlore donnent, au pôle négatif, exactement le double de 1 équivalent du métal.

Les protochlorures $R\,Cl^3$ donnent, au pôle négatif, exactement les $^2/_3$ de l'équivalent de la base.

Pour calculer ces nombres, on fait en sorte, comme dans la page 168, que les nombres x de la cinquième colonne soient donnés par la formule

$$112,5 : y :: R : x \qquad x = \frac{R\,y}{112,5},$$

y étant le nombre de la colonne 3 et R l'équivalent indiqué colonne 2.

Dans toutes ces différentes expériences, on peut se convaincre que, si la solution est saturée de chlorure, ce sel seul est

Protochlorures. — L'équivalent du chlore est $Cl^2 = 442,66$.

COMBINAISONS.	POIDS atomique du métal.	GAZ dégagé dans le voltamètre.	POIDS du métal précipité au pôle négatif. Par expérience.	POIDS du métal précipité au pôle négatif. Par le calcul.	OBSERVATIONS.
Protochlorures.	$R\,Cl^2$, formés de 1 équivalent de radical et de 1 équivalent de chlore.				
		cent. cub. millim.	millim.	millim.	
Protochlorure d'étain $Sb\,Cl^2$ . .	$Sb = 735,29$	7,1 = 3,81	25,0	24,9	En solution dans l'eau.
Chlorure d'argent $Ag\,Cl^2$. . . .	$Ag = 1351,61$	2,4 = 1,29	16,5	15,5	En solution dans l'ammoniaq.
Protochlorure de fer $Fe\,Cl^2$. . .	$Fe = 339$	2,8 = 1,5	5,0	4,6	En solution dans l'eau.
	Protochlorures. $R^2\,Cl^2$.				
Protochlorure de cuivre $Cu^2\,Cl^2$.	$Cu = 395,70$	3,6 = 1,93	13,5 dont la moitié est 6,75	6,78	En solution dans l'acide chlorhydrique.
	Protochlorures. $R\,Cl^3$.				
Protochlor. d'antimoine $An\,Cl^3$. Première expérience. . .	Ant. 806,45	20,5 = 11	51,5	78,8 2/3 78,8=52,5	En solution dans l'acide chlorhydrique étendu.
Seconde expérience . . .	*Id.*	2,4 = 1,29	6,0	9,2 2/3 9,2=6,1	*Id.*

décomposé, puisqu'il ne se dégage que du chlore au pôle positif. Une des manières de le prouver est de mettre comme lame positive une lame de métal oxidable, tel que du cuivre, et d'opérer, par exemple, avec le protochlorure d'étain et celui de cuivre; on voit alors cette lame perdre exactement de son poids ce qu'il faut pour reformer du protochlorure de cuivre, en proportion avec le chlorure décomposé.

La loi de décomposition déduite de ces expériences n'est pas celle de Mr. Faraday, puisque des quantités de métal proportionnelles aux équivalents ne se déposent pas au pôle négatif; mais elle est plus simple, puisqu'elle revient à dire que dans chaque cas 1 équivalent de chlore a été transporté au pôle positif pour 1 équivalent d'électricité.

En effet, les trois chlorures

$$R\ Cl^2$$
$$R^2\ Cl^2$$
$$R\ Cl^3$$

pour 1 équivalent de chlore deviennent

$$R\ Cl^2$$
$$R^2\ Cl^2$$
$$R^{\frac{2}{3}}\ Cl^2$$

et les quantités de bases sont 1, 2, $^2/_3$, comme l'expérience le donne.

On pourrait dire que cet effet est le même que si l'eau seule avait été décomposée et que la réduction du métal eût été le résultat de l'action décomposante de l'hydrogène transporté au pôle négatif; mais alors on n'aurait pas eu de chlore au pôle positif, et le protochlorure d'antimoine anhydre fondu n'aurait pas conduit au même résultat.

Perchlorures. — Examinons maintenant ce qui a lieu avec les perchlorures. Suivant que l'intensité du courant est plus ou moins grande, les résultats sont différents; il se dépose seule-

ment du métal au pôle négatif, ou bien il se forme à ce même pôle un protochlorure, soit directement, soit par l'action chimique secondaire du perchlorure sur le métal précipité. Il est donc très-difficile de doser le métal, car la précipitation se complique d'effets secondaires; mais comme au pôle positif il se porte toujours du chlore, il faut doser le chlore au lieu du métal.

Le procédé qui m'a réussi le mieux est le suivant : on prépare la solution de chlorure dont on veut faire usage, de façon qu'elle soit le moins acide possible, et on dose le chlore par le cuivre. On emploie pour cela soit l'appareil, *fig*. 1 et 2, soit le tube en U, *fig*. 4 ; on met au pôle négatif une lame de platine, et au pôle positif une lame de cuivre pesée. On opère rapidement, et alors on observe une perte de poids dans le cuivre, correspondant au chlore qui s'est porté sur cette lame. Cette perte de poids indique la formation du protochlorure de cuivre.

Si l'on fait usage du bichlorure d'étain, on voit le protochlorure blanchâtre de cuivre sur la lame positive, qu'on dissout en lavant celle-ci dans l'eau faiblement acidulée par l'acide chlorhydrique. Mais si l'on fait usage du perchlorure de fer ou d'antimoine, le protochlorure de cuivre, une fois formé sur la lame, se transforme en bichlorure et se dissout ; mais c'est une action secondaire, et la perte de poids du cuivre correspond toujours à la formation du protochlorure.

Du reste, il faut s'assurer si pendant le temps que dure l'expérience, et qui est de quelques minutes, une lame seule ne perd pas de poids dans une solution semblable à celle soumise à l'expérience ; c'est après cet essai préliminaire que l'on peut seulement employer la solution de perchlorure.

J'ai ainsi fait usage des différents chlorures mentionnés dans le tableau suivant :

Perchlorures.

COMBINAISONS.	GAZ dégagé dans le voltamètre.	PERTE du cuivre au pôle positif.	CHLORE correspondant.	CHLORE par le calcul.	OBSERVATIONS.
Bichlorure de cuivre $Cu\,Cl^2$	c. c. mill 5,25=2,83	millim. 23	millim. 12,9	millim 11,1	En solution dans l'eau.
Perchlorure de fer $Fe\,Cl^3$	4,35=2,34	18	10	9,2	En solution dans l'eau.
Bichlorure d'étain $St\,Cl^4$	4,35=2,34	16	9	9,2	En solution dans l'eau.
Perchl. d'antimoine $An\,Cl^5$	6,5 =3,44	24	13,2	13,5	Disso. dans l'ac. tartriq. étendu.

On peut voir, à l'inspection de ce tableau, que l'on a les mêmes résultats que précédemment; c'est donc la quantité de chlore transportée au pôle positif qui est toujours la même pour un même courant.

Il résulte de là que, quel que soit le composé qui se porte au pôle négatif, soit un métal, soit un protochlorure provenant de la décomposition directe du perchlorure, ou de l'action chimique secondaire de ce dernier sur le métal précipité, on trouve toujours la même quantité de chlore au pôle positif. Ainsi la proportion de l'équivalent du métal transporté au pôle négatif dans ces différents sels pour le même courant doit donc être comme les nombres 1, $^2/_3$, $^1/_2$, $^2/_5$, qui représentent les équivalents de la base dans les chlorures $Cu\ Cl^2$, $Fe\ Cl^3$, $St\ Cl^4$, $An\ Cl^5$, lorsqu'on ramène ces formules à avoir le même équivalent de chlore de la manière suivante :

$$Cu\ Cl^2,\ Fe^{\frac{2}{3}}\ Cl^2,\ St^{\frac{1}{2}}\ Cl^2,\ An^{\frac{1}{5}}\ Cl^2.$$

Mr. Matteucci avait déjà trouvé pour le premier chlorure, le perchlorure de cuivre, que, lorsqu'on avait au pôle négatif.

du cuivre métallique, il se déposait la moitié moins de cuivre qu'avec le protochlorure. C'est, en effet, ce qui doit avoir lieu.

Iodures. — En opérant à l'aide de quelques iodures, comme l'iodure d'argent, de zinc, etc., on trouve les mêmes effets qu'avec les chlorures; seulement il faut avoir soin de se mettre en garde contre les effets secondaires, c'est-à-dire contre les produits que les corps transportés sur les lames décomposantes peuvent former avec quelques-uns des éléments des dissolutions; car, sans cela on serait induit en erreur sur le véritable effet du courant électrique.

Pour citer un effet de ces actions secondaires, je n'ai qu'à mentionner ce qui se passe avec les chlorures de sodium, de potassium, etc.

Lorsqu'ils sont en solution dans l'eau au pôle négatif, il se dégage de l'hydrogène si le courant a une certaine énergie, et il se dépose autour de la lame, de la potasse, ou de la soude, tandis qu'au pôle positif on trouve du chlore, et quelquefois de l'oxigène mélangé avec ce corps, suivant l'intensité du courant. Si le courant n'a qu'une énergie suffisante pour décomposer le chlorure de sodium sans décomposer l'eau, le chlore se porte à un pôle et le sodium à l'autre; mais comme le sodium ne peut exister en présence de l'eau, celle-ci est décomposée, il se forme de la potasse, et de l'hydrogène se dégage. Le résultat final est donc un équivalent de soude et d'hydrogène au pôle négatif, et 1 équivalent de chlore au pôle positif; mais si le courant a une énergie suffisante pour décomposer em même temps l'eau, on trouve de l'oxigène mêlé au chlore au pôle positif; on a moins de soude au pôle négatif, mais la même quantité d'hydrogène se dégage, car la somme des quantités de chlorure et d'eau décomposée doit toujours faire 1 équivalent. Ainsi, pour m'exprimer en chiffres, je dirai:

Si dans le voltamètre on a $M\,(H^2\,O)$ d'eau de décomposée, M étant une constante, alors si le chlorure de sodium est dé-

composé, il s'en décompose $M(Na\,Cl^2)$, de sorte qu'avec l'action secondaire le résultat final est :

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
$M\,Na\,O + M\,H^2$;	$M\,Cl^2$;

tandis que si l'eau et le chlorure sont décomposés en même temps, en supposant qu'il y ait n de chlorure et n' d'eau de décomposé, on a toujours $n + n' = M$, et le résultat final est :

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
$n(Na\,O) + n\,H^2 + n'\,H^2 \ldots$;	$n\,Cl^2 + n'\,O$,

c'est-à-dire

$n(Na\,O) + M\,H^2 \ldots$,	$n\,Cl^2 + n'\,O$.

On voit par là comment peut se produire un effet secondaire, et que ce que j'avais avancé est vrai.

Les bromures conduiraient au même résultat que les chlorures et iodures métalliques.

On voit donc que la décomposition directe de ces combinaisons binaires nous conduit à cette loi remarquable :

« Lorsqu'un chlorure, un iodure, ou un bromure métallique est décomposé directement par l'action du courant, la décomposition se fait toujours en proportions définies, de telle sorte que pour 1 équivalent d'électricité qui passe dans la combinaison, il se transporte toujours 1 équivalent de l'élément acide au pôle positif et la quantité correspondante de base au pôle négatif. »

§ II. *Des oxides.* — Les oxides métalliques ne se prêtent pas aussi bien que les chlorures à l'action décomposante de l'électricité. Plusieurs à la vérité sont fusibles, mais on trouve encore ici les mêmes inconvénients à les employer fondus, que les chlorures. Il faut donc opérer quand ils sont dissous. Or, il est très-difficile d'avoir de simples solutions d'oxide sans combinaison ; et lorsque cette difficulté est vaincue, comme le résultat final de l'action décomposante du courant est un

dépôt métallique au pôle négatif, et de l'oxigène au pôle positif, on ne peut décider l'alternative, savoir si la réduction du métal est due à l'action directe du courant ou à l'action secondaire provenant du transport de l'hydrogène de l'eau décomposée.

On ne peut donc pas s'appuyer sur les oxides aussi bien que sur les chlorures pour trouver les lois de l'action décomposante de l'électricité. Il est facile de voir cependant, en en soumettant quelques-uns à l'expérience, que les résultats obtenus s'expliquent très-bien d'après la loi posée plus haut. En effet, prenons pour exemple les deux oxides de cuivre en solution dans l'ammoniaque. Pour assurer le succès de l'expérience, il ne faut employer que le courant provenant d'un seul couple cuivre-zinc, faiblement chargé, et opérer hors du contact de l'air avec l'appareil représenté *fig.* 6, composé d'un flacon hermétiquement fermé, dans le bouchon duquel passent deux tubes de verre *C'*, *D'*, et de deux fils de platine traversant ces tubes à l'extrémité desquels sont attachées deux lames *l*, *l'*, l'une de platine servant d'électrode négatif, et l'autre de cuivre servant d'électrode positif.

On place la solution ammoniacale dans le flacon, et on fait passer le courant pendant plusieurs heures. Pour mesurer la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, on ne peut plus employer les deux gaz provenant de la décomposition de l'eau, mais on prend un second appareil semblable à *A B*, *fig.* 6, dans lequel on met une dissolution de nitrate de deutoxide de cuivre. Il se dépose un équivalent de cuivre pour un équivalent d'électricité. C'est donc un véritable voltamètre, mais dans lequel l'action se mesure à l'aide du cuivre déposé au pôle négatif.

En opérant ainsi, j'ai obtenu les résultats suivants :

COMPOSÉS.	MÉTAL déposé dans le voltamètre	MÉTAL déposé au pôle négatif dans la combinaison.	OBSERVATIONS.
Première expérience. Protoxide de cuivre Cu^2O	milligr. 15	milligr. 30	En solution dans l'ammoniaque.
Seconde expérience. Protoxide de cuivre. Cu^2O	2,5	5	Idem.
Bioxide de cuivre CuO.	106	107	Idem.

Ainsi, avec le protoxide de cuivre, on a deux fois autant de métal que dans le voltamètre, tandis qu'avec le deutoxide la quantité de métal précipitée est la même ; cela revient à dire que la quantité d'oxigène transportée au pôle positif est la même pour un même courant, car pour 1 équivalent d'oxigène les formules des deux oxides sont :

$$Cu^2 O, \quad \text{et} \quad Cu O;$$

et avec le protoxide on doit avoir deux fois plus de cuivre qu'avec le bioxide.

Si l'ammoniaque, au lieu de dissoudre simplement les oxides, formait des combinaisons, on trouverait, comme je le montrerai plus loin, que la quantité de métal précipitée au pôle négatif serait la même que dans les expériences précédentes.

Je pourrai citer encore d'autres exemples qui montrent que la loi qui régit les composés binaires se vérifie, pourvu toutefois qu'on n'emploie pas des combinaisons d'oxides, mais bien, autant que possible, de simples solutions.

On peut donc poser en principe, de la manière suivante, cette loi très-simple de la décomposition électro-chimique des com-

posés binaires, laquelle se vérifie également pour les sels, comme je le démontrerai plus loin :

« 1° Lorsqu'un courant électrique traverse deux ou plusieurs combinaisons chimiques binaires placées séparément sur sa route, la décomposition se fait toujours en proportions définies, de telle sorte que pour 1 équivalent d'électricité, 1 équivalent chimique du corps qui joue le rôle d'acide ou d'élément électro-négatif dans chaque composé se porte au pôle positif. »

Connaissant ensuite la formule atomique de la combinaison, il est facile d'en déduire la quantité de l'élément électro-positif transporté au pôle négatif.

Voilà bien ce qui se passe lorsqu'une combinaison binaire est soumise à l'action du courant électrique; mais que doit-il arriver lorsqu'un mélange de deux ou plusieurs composés est parcouru par ce courant? La réponse est facile, et on la trouve dans diverses expériences faites par plusieurs physiciens. On a vu, en effet, que si un mélange de deux sels métalliques était décomposé électro-chimiquement, il se déposait au pôle négatif dans le mélange des poids n et n' des deux métaux, tels que $\frac{n}{e} + \frac{n'}{e'} = \frac{m}{E}$, e, e' étant les équivalents de ces deux métaux, et m, E étant le poids et l'équivalent d'un métal précipité au pôle négatif dans une solution placée sur la route du courant.

On peut formuler ce résultat de la manière suivante :

« 2° Lorsqu'un courant électrique traverse simultanément une combinaison chimique binaire et un mélange de deux ou plusieurs combinaisons chimiques binaires, et que ces dernières sont décomposées ensemble par le courant, la décomposition se fait toujours en proportions définies, de telle sorte que la somme des quotients obtenus en divisant le poids des éléments électro-négatifs transportés au pôle positif dans le mélange, par leurs équivalents chimiques respectifs, est toujous égale au quotient du poids de l'élément électro-négatif transporté au

pôle positif, dans la combinaison binaire seule, par son équivalent chimique. »

L'eau oxigénée étant un bioxide d'hydrogène, j'ai dû aussi examiner l'action de l'électricité sur ce composé, comparativement à l'eau ordinaire. On a fait usage d'eau renfermant seulement vingt à trente fois son volume d'oxigène, et légèrement acidulée.

On ne peut doser dans l'eau oxigénée que l'oxigène transporté au pôle positif, car l'hydrogène qui se dégage au pôle positif, étant à l'état naissant, se combine en partie avec l'oxigène de l'eau oxigénée pour reformer de l'eau ordinaire. Pour mesurer cet oxigène, j'ai mis l'eau oxigénée dans un petit verre, et j'ai pris pour électrode positif un fil de platine, *fig.* 5, passant dans un tube de verre fermé en (*a*) à la lampe, de sorte que le bout du fil sortant en (*a*) sert seul à décomposer le liquide; on met alors au-dessus de ce fil une petite cloche graduée, et on recueille l'oxigène dégagé sous l'influence du courant.

Voici les résultats de deux expériences faites avec une pile à auges de 30 éléments très-faiblement chargée.

Les volumes indiqués sont des dixièmes de centimètre cube.

(*Voyez le tableau page* 242.)

On voit qu'il se porte au pôle positif exactement le double d'oxigène dans l'eau oxigénée que dans l'eau ordinaire, et au pôle négatif la même quantité d'hydrogène, puisque les formules de ces deux composés sont $H^2\,O$ et $H^2\,O^2$.

Au premier abord cette loi paraît en contradiction avec celle que j'ai posée plus haut, puisqu'il se porte le double de l'équivalent au pôle positif; mais nous verrons, dans le chapitre suivant, comment l'on peut rendre compte de ce fait.

Les deux lois (1°) et (2°) qui ont été posées plus haut résument, à elles seules, tous les faits observés dans la décomposition électro-chimique des composés binaires, en s'en tenant aux effets directs, bien entendu.

EAU OXIGÉNÉE.	EAU ORDINAIRE.
Première expérience.	
Gaz dégagé.	Gaz dégagé.
vol.	vol.
Pôle + oxig. 18,5	Pôle + oxig. 9,3
	Pôle — hydr. 18,6
	Total. . . 28
Seconde expérience.	
Gaz dégagé.	Gaz dégagé.
vol.	vol.
Pôle + oxig. = 26	Pôle + oxig. 13,2
	Pôle — hydr. 26,3
	Total. . . 39,5

Il n'est pas possible de vérifier directement ces lois sur toutes les combinaisons que la chimie nous présente, attendu que beaucoup d'entre elles ne sont pas conductrices, et que la conductibilité étant liée intimement avec le pouvoir de décomposition, on ne peut les soumettre à la décomposition électro-chimique directe ; mais nous avons vu, surtout avec les perchlorures non conducteurs, que lorsque ces combinaisons sont en solution dans un liquide, elles sont alors décomposées par le courant et soumises aux mêmes lois.

En parlant de la conductibilité, je ne dois pas omettre de rappeler une loi qu'on a cru avoir observée, et qui est relative au pouvoir conducteur des corps fondus ou solides. On sait très-bien, d'après les travaux de Mr. Faraday et de mon père, qu'un liquide ne peut se laisser traverser par le courant sans être décomposé ; dès lors s'il n'est pas conducteur, c'est qu'il ne se laisse pas décomposer par l'électricité. Mr. Faraday a vu, en outre, que les composés métalliques formés par la combinaison de 1 ou 2 équivalents avec un équivalent étaient con-

ducteurs, tandis que les perchlorures, tels que le chlorure d'étain $St\,Cl^4$, etc., n'étaient pas conducteurs : de là on a conclu que généralement, lorsque les composés sont formés par la réunion de 1 équivalent d'un corps avec 1 ou 2 équivalents d'un autre, ils sont conducteurs, tandis que le contraire a lieu lorsque ce composé est formé par la combinaison de 1 équivalent avec 3, 4, 5 équivalents d'un autre corps.

Cette loi ne se vérifie pas toujours, puisqu'il y a des corps dont la composition est simple, tels que le chlorure de soufre, de carbone, qui ne sont pas conducteurs de l'électricité; d'une autre part, comme on sait que tous les éléments des corps sont conducteurs de l'électricité, puisque l'on peut les transporter tous sur des lames décomposantes lors des décompositions électro-chimiques, il faut donc en conclure que la conductibilité dépend d'un arrangement moléculaire qui varie en vertu de causes que nous ne connaissons pas encore.

Chapitre II.

§ I. — On a donné, dans le chapitre précédent, les deux lois qui permettent d'expliquer tous les effets de décomposition électro-chimique obtenus avec les composés binaires ; il s'agit maintenant de voir si ces lois sont les mêmes pour les combinaisons ternaires, quaternaires, etc., c'est-à-dire pour les sels, et si elles régissent enfin la décomposition chimique de tous les corps, quelle que soit leur constitution.

Commençons par examiner ce qui arrive lorsqu'un sel en général est soumis à l'action d'un courant électrique, et prenons d'abord un sel d'un métal électro-négatif, tel que le nitrate d'argent $Az^2O^5,\ AgO$ en dissolution dans l'eau.

Supposons que le courant soit seulement suffisant pour déposer de l'argent au pôle négatif; on a de l'acide nitrique au pôle positif et un dégagement d'oxigène qui est équivalent au

métal précipité à l'autre pôle ; de telle sorte que le résultat final de l'action du courant est

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
Ag;	$Az^2O^5 + O$.

Il y a quatre manières de concevoir comment cette décomposition peut s'opérer :

1° Il peut y avoir décomposition de l'eau seule et réduction de l'oxide au pôle négatif par l'hydrogène transporté. Cet effet n'a pas lieu dans tous les cas, puisqu'on ne pourrait expliquer ainsi le transport de l'acide au pôle positif ; mais il se produit quand l'eau est plus décomposable que le sel soumis à l'expérience.

2° L'eau peut être décomposée en même temps que le sel, et alors on a

	Au pôle négatif.	Au pôle positif.
	$AgO + H^2$;	$Az^2O^5 + O$,
ou		
	$Ag + H^2O$.	$Az^2O^5 + O$.

Cela revient à supposer que le sel se décompose en oxide et acide, et que l'oxide transporté au pôle négatif est réduit par l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau. Cet état de choses ne saurait exister pour plusieurs motifs. D'abord nous verrons plus loin que certains sels donnent deux fois, trois fois et même plus, de métal au pôle négatif que la quantité qu'il faut pour 1 équivalent ; de sorte qu'il faudrait qu'il y eût en même temps 2, 3 équivalents d'eau de décomposés lorsqu'il n'y en aurait qu'un seul dans le voltamètre, ce qu'il serait difficile d'admettre. De plus, si la supposition que nous avons faite était vraie, comment expliquerait-on la décomposition des sels anhydres fondus ?

3° Le sel peut être décomposé en oxide AgO au pôle négatif, et en acide Az^2O^5 au pôle positif ; puis, lors de cette

décomposition, l'oxide peut lui-même être décomposé par la force du courant; de telle sorte qu'il en résulte du métal au pôle négatif, et de l'oxigène plus de l'acide au pôle positif.

On expliquerait très-bien, dans cette supposition, comment lorsqu'un courant est très-faible et qu'il a agi sur un sel métallique, au lieu d'avoir du métal au pôle négatif, on a soit du protoxide, soit du deutoxide suivant la force du courant; mais aussi, si l'on fait attention à la manière dont se ferait cette décomposition lorsqu'on obtient du métal au pôle négatif, on voit qu'il y aurait 2 équivalents de décomposés simultanément, le sel décomposé en oxide et en acide, et l'oxide en métal et oxigène; tandis que, dans le voltamètre, on n'observerait que 1 seul équivalent d'eau de décomposé : la même quantité d'électricité servirait donc à décomposer deux fois plus d'éléments dans le premier cas que dans le second, ce qui ne se concevrait pas bien et serait contraire aux lois des décompositions électro-chimiques binaires.

4° La quatrième manière de considérer la décomposition du sel AgO, Az^2O^5, est de supposer que ce sel n'est pas formé par la réunion de l'oxide AgO et de l'acide Az^2O^5, mais par celle du métal Ag avec un composé Az^2O^6 qui se décompose en Az^2O^5 et O lorsqu'il n'est plus en présence du métal.

Du reste, cette manière de considérer la constitution des sels rend facile l'explication de la décomposition électro-chimique, et conduit à la même loi simple et remarquable que j'ai donnée pour les compositions binaires.

Alors, d'après cette supposition, on voit comment la même décomposition a lieu avec les sels fondus anhydres et les sels dissous, et que, pour un seul équivalent d'eau de décomposé dans le voltamètre, on n'a qu'un seul équivalent $Az^2O^6 + Ag$, c'est-à-dire $Az^2O^5 + O, Ag$ de décomposé.

Dans cette hypothèse, le dépôt d'oxide au pôle négatif lors de l'action des courants peu énergiques serait un effet secondaire provenant de la décomposition de l'eau, à l'aide du métal

précipité au pôle négatif. Dans le cas où cela n'aurait pas lieu, on serait conduit à supposer que, suivant l'intensité du courant, les produits provenant de la décomposition du sel seraient Az^2O^5 et AgO pour les courants faibles, et $Az^2O^6 + Ag$ pour les courants énergiques. C'est ce que des expériences directes peuvent seules décider.

Comme, dans tout ce qui va suivre, j'ai fait usage de courants capables de produire au moins 1 centimètre cube de gaz par minute, je supposerai que les sels composés d'un acide AO et d'une base RO sont formés par la combinaison de AO^2 avec R; de sorte que le courant opère cette décomposition en AO^2, qui est transporté au pôle positif, et R au pôle négatif. Alors, si R est très-oxidable et se trouve en présence de l'eau, il peut en résulter RO et H^2 au pôle négatif; cela a lieu lorsqu'on fait usage des sels des métaux alcalins. On trouve au pôle positif 1 équivalent d'oxigène et 1 équivalent d'acide; puis au pôle négatif 1 équivalent d'hydrogène et 1 équivalent d'oxide.

§ II. *De l'eau.* — Dans toutes les expériences dont il a été question jusqu'ici, j'ai pris, pour mesurer la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, la quantité de gaz fournie par la décomposition de l'eau acidulée placée sur la route du courant dans l'appareil appelé voltamètre, *fig.* 2; il s'agit de voir si c'est l'eau qui est soumise à l'action directe du courant, et si l'on peut prendre, pour mesure de la quantité d'électricité produite ou pour équivalent d'électricité, la mesure en équivalent des gaz produits, c'est-à-dire de l'eau décomposée.

Lorsque l'eau a été distillée dans un vase d'argent, qu'elle ne contient pas d'air, et qu'elle est soumise à l'action du courant, elle n'est pas conductrice de l'électricité, et par conséquent n'est pas décomposée; mais vient-on à mettre dans l'eau une goutte d'un acide ou d'une solution alcaline, elle est décomposée.

Si l'on sépare l'eau acidulée en deux parties par une cloi-

son, comme l'a fait M. Daniell, et qu'on n'emploie qu'un courant faible, on ne voit aucun dégagement de gaz, et on trouve que de l'acide est transporté au pôle positif; ce n'est donc pas l'eau qui est décomposée, mais bien un hydrate. Si l'expérience avait été faite d'une manière exacte, on aurait trouvé probablement 1 atome d'acide transporté pour 1 atome d'eau décomposé.

On parvient à expliquer cet effet à l'aide des différentes hypothèses que j'ai indiquées dans le paragraphe précédent. En admettant la dernière, on voit que, lorsque l'eau acidulée ou alcalisée est décomposée, l'action se porte sur AOH^2O, de manière à donner AO^2 ou $AO+O$ au pôle positif, H^2 au pôle négatif. Le résultat final est le dégagement de gaz correspondant à l'équivalent d'eau décomposé dans le premier cas. En faisant usage d'un courant faible, les gaz restent en solution dans l'eau. Si l'on prend, pour rendre l'eau conductrice, un sel soluble tel que le sulfate de potasse $SO^3+KO=SO^4+K$, on a :

Au pôle negatif.	Au pôle positif.
K;	$SO^4=SO^3+O$.

Or K au pôle positif décompose l'eau et produit de la potasse KO et de l'hydrogène H^2; de telle sorte que l'oxigène et l'acide sulfurique se portent au pôle positif, et l'hydrogène et la potasse au pôle négatif. L'acide sulfurique et la potasse restent en solution et se recombinent, de sorte qu'il n'y a d'apparent que l'hydrogène et l'oxigène dans les proportions voulues pour faire 1 équivalent d'eau. Il est démontré par là que l'on peut très-bien prendre pour liquide, dans le voltamère, de l'eau acidulée, de l'eau alcalisée, ou bien de l'eau contenant un sel soluble à base d'un métal alcalin, pourvu que le courant ait une certaine énergie, et qu'il n'y ait jamais d'apparent que 1 équivalent d'oxigène transporté au pôle positif, et 1 équivalent d'hydrogène au pôle négatif.

Ce que je viens de dire sert à expliquer ce que j'ai observé

avec l'eau oxigénée ou bioxide d'hydrogène HO; c'est-à-dire qu'il se porte deux fois plus d'oxigène au pôle positif que dans le voltamètre. En effet, la formule de l'eau oxigénée est HO pour 1 équivalent. Or, si l'on admet que l'eau oxigénée est une combinaison d'oxigène et d'eau, un hydrate enfin, la formule sera H^2O+O. Cet hydrate doit donner, pour sa décomposition, les mêmes résultats que l'hydrate d'acide sulfurique

$$H^2O+SO^3.$$

Or, comme dans cette dernière, on a H^2 au pôle négatif et SO^3+O au pôle positif, on aurait, dans le premier cas, H^2 au pôle négatif, et $O+O$, ou O^2 au pôle positif.

Du reste, si cela ne se passe pas ainsi, et que ce soit le bioxide d'hydrogène qui soit immédiatement décomposé, c'est le seul exemple que j'aie trouvé dans lequel il y ait 2 équivalents d'oxigène transportés au pôle positif pour 1 équivalent d'eau décomposé dans le voltamètre.

§ III. *Des sels métalliques.* — En admettant que les sels aient pour composition AO^2+R, lesquels se décomposent en $AO+O$ au pôle positif, et R au pôle négatif, on va voir que les deux lois que j'ai données précédemment pour les combinaisons binaires leur conviennent également; c'est-à-dire que 1 atome de l'élément électro-négatif se porte au pôle positif, tandis qu'il se rend au pôle négatif une quantité de métal correspondante au sel décomposé.

Considérons, en premier lieu, les nitrates de cuivre, de plomb, d'argent, c'est-à-dire

$$Az^2O^6Pb,\ Az^2O^6Ag,\ Az^2O^6Cu,$$

sels qui sont formés par la combinaison de 1 équivalent d'acide et de 1 équivalent d'oxide; alors il se porte au pôle positif 1 équivalent de l'élément électro-négatif pour 1 équivalent d'électricité, c'est-à-dire Az^2O^5+O, et au pôle négatif successivement Pb, Ag, Cu.

Or, comme ces sels sont unibasiques, il s'ensuit qu'il y a 1 équivalent de métal au pôle négatif. C'est la loi telle que l'a posée Mr. Faraday ; mais on voit qu'elle n'est nullement générale, et qu'elle n'est qu'un colloraire de celle que nous avons donnée pour les combinaisons binaires. Du reste, plus loin, j'en donnerai des exemples.

Supposons qu'un même acide puisse former deux sels avec un même métal, un sel de protoxide et un sel de peroxide ; que doit-il arriver ? Prenons le cuivre, par exemple : l'hyposulfite de protoxide de cuivre et un sel quelconque de bioxide, dont AO est l'acide, les sels seront, dans les deux cas, $AO^2 + Cu$ et $AO^2 + Cu^2$.

Il doit donc se déposer au pôle négatif deux fois autant de cuivre qu'au pôle positif. C'est effectivement ce qui a lieu.

Voici comment on dispose l'expérience : lorsqu'on fait digérer hors du contact de l'air du carbonate de cuivre avec une dissolution d'hyposulfite de soude, on forme, au bout de plusieurs jours, un hyposulfite de protoxide de cuivre. Ayant mis cette solution dans un vase tel que celui de la *fig.* 6, en prenant pour pôle négatif une lame de platine, pour pôle positif une lame de cuivre, après trois heures d'action avec un seul petit couple faiblement chargé, en ayant soin de faire aussi passer le courant dans un appareil semblable contenant du nitrate de bioxide de cuivre, j'ai obtenu :

Dans la solution du sel de protoxide, au pôle négatif : 53 milligrammes de cuivre.

Dans la solution du sel de bioxide, au pôle négatif : 26 milligrammes de cuivre.

On trouve donc deux fois plus de cuivre métallique dans le premier cas que dans le second. C'est aussi ce qu'on avait eu avec le protoxide et le bioxide de cuivre dissous dans l'ammoniaque.

La loi de Mr. Faraday serait donc ici en défaut, tandis que la nôtre rend très-bien compte du phénomène.

Examinons maintenant ce qui a lieu lorsque l'on prend différents sels d'une même série formés par la combinaison d'un acide avec 2, 3 équivalents de base, et réciproquement. On doit trouver avec ces sels des résultats différents pour les quantités de métal déposées aux électrodes. Or, il peut arriver, ou que le sel seul soit décomposé, ou que l'eau le soit, comme nous allons en donner successivement des exemples.

Nous prendrons d'abord le nitrate de plomb et les sels que l'on forme en les faisant réagir sur le plomb métallique; on sait alors qu'il se produit quatre sels : deux hyponitrites, un nitrite et un sous-nitrate. (Voyez le Mémoire de Mr. Péligot, *Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, t. II). Les deux hyponitrites qui contiennent des proportions différentes de base sont solubles dans l'eau chaude, et peuvent servir à montrer l'action décomposante de l'électricité. On peut les préparer suivant l'indication de Mr. Péligot, ou bien par un procédé électro-chimique, de la manière suivante, comme l'a fait mon père. On prend une éprouvette *AB*, *fig.* 7, au fond de laquelle on met du massicot *ab* ou du peroxide de plomb, suivant le produit que l'on veut avoir. On verse dessus une solution de nitrate de plomb dans l'eau, et on plonge une lame de plomb *cd* dans le nitrate et l'oxide. Au bout d'un certain temps, d'un mois ou deux ou même plus, suivant la quantité de matière employée, en faisant usage de massicot, on voit la lame de plomb recouverte de cristaux jaunes appartenant à l'hyponitrite le moins basique; et si l'on a fait usage de peroxide, on trouve des cristaux oranges qui sont de l'hyponitrite le plus basique.

Les deux hyponitrites cristallisés ont la composition suivante, d'après Mr. Péligot :

Hyponitrite jaune cristallisé. $Az^2O^4, 2PbO, H^2O$;
Hyponitrite rouge . . . . $2Az^2O^4, 7PbO, 3H^2O$;

c'est-à-dire que l'un contient 2 équivalents d'oxide de plomb

pour 1 d'acide hyponitrique, et l'autre 7 de base pour 2 d'acide.

On les fait dissoudre dans de l'eau bouillante jusqu'à saturation, et l'on s'arrange pour opérer à une température un peu inférieure à 100 degrés, en maintenant cette température à l'aide d'un bain-marie. Avec une pile à auges de 30 éléments faiblement chargée et l'hyponitrite jaune préparé par la chimie et l'électro-chimie, on a eu :

	GAZ dégagé dans le voltamètre.	PLOMB déposé au pôle négatif.	PLOMB par le calcul correspondant à 1 équivalent.
Première expérience.	c. cub. 6,4 = milligr. 3,44	milligr. 82	milligr. 39,6
Seconde expérience.	2,8 = 1,5	35	17,25

On a calculé les nombres de la quatrième colonne de la manière suivante :

112,5 équivalent de l'eau : 1294,5 équivalent du plomb :: 3,4 milligr. quantité d'eau décomposée : x.

Il en a été de même pour le résultat de la deuxième expérience.

On voit que les nombres obtenus par l'expérience sont le double de ceux que donne le calcul, puisque $^1/_2$ $82 = 41$ milligr., et $^1/_2$ $35 = 17,5$ milligr.; il s'est donc déposé 2 équivalents de plomb au pôle négatif. Or, si l'on se reporte à la composition de cet hyponitrite $Az^2O^4, 2PbO$, on voit que, d'après la loi que nous avons posée, 1 équivalent du composé pour 1 équivalent d'acide est $Az^2O^6, 2Pb$; et que si, d'un côté, au pôle positif, il se porte Az^2O^4, O^2, on a, au pôle négatif, $2Pb$, ou 2 équivalents de plomb.

D'après cela on peut croire qu'au pôle positif, en se servant

d'une lame de plomb comme électrode, on doit avoir une diminution de poids égale à $2Pb$, mais il n'en est rien ; il se dissout une quantité de plomb supérieure à Pb, mais moindre que $2Pb$, car il ne se forme jamais au pôle positif, ou du moins rarement, le même produit que celui qui est décomposé, lorsque l'oxide du métal peut se combiner en plusieurs proportions avec l'acide. C'est ce qui arrive ici : l'oxigène ne se porte pas seulement sur le plomb, mais sur Az^2O^4; il se forme du nitrate de plomb, Az^2O^5, et celui-ci peut, à son tour, dissoudre un peu de plomb, et reformer $Az^2O^4\ 2PbO$.

Avec l'hyponitrite rouge, préparé des deux manières, on a eu, en le dissolvant dans l'eau à 100 degrés :

	GAZ dégagé dans le voltamètre.	PLOMB déposé au pôle négatif.	PLOMB par le calcul correspondant à 1 équivalent.
Première expérience.	c. cub. 5,6 = milligr. 3	milligr. 120	milligr. 34,5
Seconde expérience.	2,0 = 1,074	42	12,35

Il s'est donc déposé plus de 3 équivalents de plomb au pôle négatif; or la composition de ce sel est $2Az^2O^4, 7PbO$, ou, pour 1 équivalent d'acide,

$$Az^2O^4,\ {}^7/_2\,PbO = Az^2O^4,\ {}^7/_2\,O + 3,5\ Pb.$$

Si la loi que j'ai posée au commencement de ce Mémoire est vraie pour 1 équivalent d'acide qui se transportera au pôle positif, on aura 3,5 équivalents de plomb au pôle négatif. C'est, en effet, ce qui résulte des expériences ; car

$\frac{120}{3,5}$ = 34 milligrammes, nombre égal à 34,5 trouvé par le calcul ;

et

$\frac{42}{3,5}$ = 12, nombre égal à 12,35 trouvé par le calcul.

Si l'on voulait doser l'acide qui se porte au pôle positif par une lame de plomb électrode, on n'y parviendrait pas mieux que précédemment ; car $Az^2O^4 + 3\,{}^1/_2\,O$ donne d'abord $Az^2O^5 + 2\,{}^1/_2\,O$, et il se forme du nitrate de plomb : tout l'oxigène $2\,{}^1/_2\,O$ ne se porte pas sur la lame, mais il oxide une partie de l'hyponitrite basique qui est soumis à l'expérience, de sorte que les effets secondaires masquent l'action directe du courant.

On ne peut donc que doser ici l'élément électro-positif. Mr. Péligot a reconnu que les différents sels dont j'ai parlé étaient solubles sans décomposition dans l'acide acétique étendu; ces sels, dissous de cette manière, ont éprouvé une altération profonde, car ils ne donnent jamais, par la décomposition électro-chimique, que 1 équivalent de plomb au pôle négatif. Il paraît que, dans ce cas, il se forme de l'acétate de plomb qui est décomposé par le courant. Ce qui tend à le montrer, c'est qu'un électrode de plomb positif éprouve aussi une perte de poids égal à 1 équivalent.

On voit donc que ces hyponitrites, en dissolution dans l'eau, montrent nettement l'action définie de l'électricité mise au jour, d'abord sur les chlorures.

Ces combinaisons sont donc directement décomposées par le courant, et sont plus décomposables que l'eau. Il faut tellement se mettre en garde contre les effets secondaires, que je vais citer une série de composés, les acétates de plomb, qui ne sont pas décomposés directement par le courant, mais bien par suite d'un effet secondaire.

Il existe plusieurs acétates de plomb : l'acétate neutre, l'acétate tribasique, l'acétate sébasique ; et, d'après Mr. Payen, une combinaison d'acétate tribasique et d'acétate ; puis, d'après Mr. Liebig, l'acétate sesquibasique, et, peut-être, des acétates plus basiques que celui à 6 atomes de base.

J'ai fait usage de l'acétate neutre, de l'acétate tribasique et

de l'acétate sébasique, et j'ai constamment trouvé, en les dissolvant dans l'eau, et en faisant agir soit un courant excessivement faible, soit très-énergique, que, pour 1 équivalent d'électricité, il se déposait 1 équivalent de plomb métallique au pôle négatif, et il se dissolvait 1 équivalent de ce même métal au pôle positif. Ces effets montrent que ces sels ne sont pas décomposés directement, puisque les éléments qui se portent aux deux pôles en se combinant, ne reformeraient pas le sel dissous. Les résultats obtenus s'expliquent sans difficulté en admettant que l'eau soit plus décomposable que ces sels. Au pôle négatif, l'hydrogène réduit l'oxide de plomb; et au pôle positif il se forme de l'oxide de plomb qui se dissout dans l'acétate, vu la grande facilité avec laquelle les acétates dissolvent l'oxide de plomb pour former des sels plus basiques.

La seule manière de décider cela positivement, serait d'agir sur des composés anhydres; mais outre que ces acétates se décomposent par la chaleur, ils ne sont pas fusibles, du moins à l'exception de l'acétate neutre.

Mr. Matteucci, dans son Mémoire cité plus haut, a dit qu'en opérant sur de l'acétate tribasique, on n'avait au pôle négatif que les $^2/_3$ de 1 équivalent de plomb métallique. Mais pour préparer cet acétate, il faisait fondre au feu l'acétate neutre, et s'arrêtait lorsque le sel commençait à se prendre sur les bords du vase. Il n'avait pas là d'acétate tribasique, ou, s'il s'en était formé, il n'y en avait qu'une très-petite quantité. C'est donc sur un mélange de plusieurs acétates que Mr. Matteucci a opéré. Mais quant au nombre qui représente les $^2/_3$ de 1 équivalent de plomb au pôle négatif, il est probable qu'une portion du plomb métallique précipité au pôle négatif pendant l'expérience aura été dissoute; car, en opérant avec soin, j'ai toujours trouvé avec des solutions aqueuses 1 équivalent de métal déposé au pôle négatif.

Il résulte de ce qui précède que, lorsqu'on soumet un sel à l'action du courant électrique, et que ce sel est décomposé, il

l'est toujours en proportions définies, de sorte que 1 équivalent d'acide se porte au pôle positif, et la quantité correspondante de base au pôle négatif. Si ce sel est dissous dans l'eau, il peut se présenter trois cas: 1° ou le sel est seul décomposé, et l'on observe la loi précédente; 2° ou l'eau seule est décomposée, et alors le métal est réduit au pôle négatif par un effet secondaire; 3° ou l'eau et le sel sont décomposés ensemble dans des proportions différentes, et alors les deux lois s'observent à la fois, et les quantités de matière déposée dépendent du rapport des quantités de sel et d'eau décomposées.

Enfin, si le sel soumis à l'expérience est un sel à base d'un métal alcalin, on obtient, au pôle négatif, un dégagement d'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau par suite de l'action du métal sur ce composé.

Résumé.

De tous les faits précédemment rapportés on déduit les conclusions suivantes qui peuvent être ainsi formulées :

« Lorsqu'une combinaison binaire ou ternaire est soumise à l'action décomposante de l'électricité, et qu'elle est décomposée, la décomposition se fait toujours en proportions définies; de telle sorte que, pour 1 équivalent d'électricité employé, 1 équivalent de l'élément électro-négatif, ou du moins du composé qui joue le rôle d'acide dans la combinaison, se porte au pôle positif, et la quantité correspondante de l'élément électro-positif, ou qui joue le rôle de base, se porte au pôle négatif. »

Ou bien : « 1 équivalent d'une combinaison formée par la réunion de 1 équivalent d'acide et d'une quantité correspondante de base, exige toujours 1 équivalent d'électricité pour être décomposé électro-chimiquement. »

Il est bien entendu que l'on ne parle que de l'effet direct du courant, et que l'on doit éliminer tous les effets secondaires, comme je l'ai dit dans le courant du Mémoire.

Cette loi, je l'ai vérifiée sur toutes les combinaisons qui peuvent conduire l'électricité, c'est-à-dire qui peuvent être décomposées, puisque ces deux facultés sont inséparables l'une de l'autre, lorsque, bien entendu, on peut analyser tous les effets produits. Il est probable que si l'on parvient à décomposer des combinaisons qui ne l'ont pas encore été, on arrivera à la même loi, qui est remarquable par sa simplicité.

Il n'a été question, dans ce Mémoire, que des substances inorganiques, parce que les composés organiques sont, pour la plupart, non conducteurs de l'électricité; et lorsqu'ils conduisent, les effets secondaires masquent tellement l'effet direct, qu'il est très-difficile de reconnaître l'action définie de l'électricité.

L'action exercée par l'électricité sur les combinaisons est une des preuves les plus fortes que l'on puisse apporter à l'appui de la théorie des antagonistes de Lavoisier; car lorsqu'une combinaison est décomposée électro-chimiquement, elle se partage toujours en deux éléments qui, par leur réunion, reproduisent le composé détruit. On doit donc y avoir égard, lorsqu'on cherche à découvrir la constitution moléculaire des corps.

S'il faut 1 équivalent d'électricité pour décomposer 1 équivalent d'une combinaison quelconque, rapporté à 1 équivalent d'acide, on peut admettre que si les deux éléments électro-positif et électro-négatif, qui forment la combinaison, sont séparés et viennent à se recombiner ensemble, par leur réaction chimique ils dégagent exactement 1 équivalent d'électricité. De là, en se reportant à la loi énoncée plus haut, on déduit les conclusions suivantes, qui sont très-importantes pour la chimie :

« 1° Lorsque 1 équivalent d'un corps, soit simple, soit composé, se combine avec 1 ou plusieurs équivalents d'un autre corps, si le premier joue le rôle d'élément électro-négatif ou d'acide dans la combinaison, le dégagement d'électricité qui

résulte de leur action chimique est tel, qu'il se produit toujours 1 équivalent d'électricité.

« 2° Si un équivalent d'un corps tel que l'oxigène s'est déjà combiné avec un autre qui joue le rôle de base, et que la combinaison s'unisse de nouveau avec 1 équivalent du premier corps, c'est-à-dire d'oxigène, pour former un deutosel, il se dégage encore, lors de cette deuxième réaction, 1 équivalent d'électricité comme précédemment. »

Ainsi la quantité d'électricité dégagée ne dépend que du corps qui joue le rôle d'acide dans la combinaison. Tous les résultats que j'ai rapportés et les lois que j'en ai déduites sont indépendants de l'état électrique on non électrique des atomes.

Dans l'état actuel de la science on ne sait pas à quelle cause est dû le dégagement d'électricité dans les actions chimiques; c'est une des questions les plus délicates et difficiles de la constitution moléculaire. Il est peu probable que les atomes soient électriques par eux-mêmes, comme le supposait Ampère, car on ne pourrait expliquer par là comment une substance peut jouer le rôle d'acide dans une combinaison et le rôle de base dans une autre; mais, quoi qu'il en soit, c'est un fait acquis à la science, et les travaux de mon père ont servi à l'établir: quand deux corps se combinent, ou se désunissent, ils se constituent, au moment de la combinaison ou de la décomposition, dans des états électriques différents; lors de la combinaison, l'élément acide prend l'électricité positive, et lors de la décomposition, c'est le contraire. Les lois que j'ai déduites des décompositions électro-chimiques montrent donc que, dans la combinaison des corps, les quantités d'électricité dégagées sont les mêmes pour des équivalents d'éléments acides égaux.

Je ne peux m'empêcher de rapprocher les résultats obtenus sur le dégagement d'électricité, de ceux auxquels on est parvenu en cherchant les quantités de chaleur dégagées dans les actions chimiques. Les résultats ne sont pas encore assez nom-

breux pour qu'on puisse en tirer aucune loi générale; mais on reconnaît, comme on le sait, que les quantités de chaleur dégagée dans la combustion de différentes substances, pour une même quantité d'oxigène employée, c'est-à-dire d'élément acide, donnent des résultats à peu près égaux ou multiples les uns des autres.

Ainsi, par exemple, Lavoisier avait trouvé que $^1/_2$ kilogramme de charbon, en brûlant, produisait 7234 degrés de chaleur, et $^1/_2$ kilogramme d'hydrogène, 22139 degrés; mais ces nombres doivent subir une correction, car, pour les calculs, Lavoisier avait admis que la chaleur latente de la glace était 75, tandis que maintenant on doit admettre 79,1; de sorte que les nombres corrigés sont:

Pour le carbone.	7625 degrés.
Pour l'hydrogène.	23335

Mr. Despretz a trouvé pour les mêmes nombres:

1 gramme de carbone en brûlant dégage.	7914 degrés.
1 gramme d'hydrogène en brûlant dégage.	23640

Et si l'on rapporte tout à la chaleur produite pour 1 litre d'oxigène absorbé, on a

	Lavoisier,	Despretz.	
Le carbone en brûlant dégage.	4095	4232	pr 1 lit. d'oxig. absorbé.
L'hydrogène en brûlant dégage	4182	4260	*id.*

c'est-à-dire des nombres à peu près égaux.

De plus, Mr. Despretz a trouvé, comme Mr. Dulong, que l'étain et le protoxide d'étain, en brûlant, dégageaient la même quantité de chaleur pour la même quantité d'oxigène absorbé. Mr. Dulong est aussi parvenu, à peu près, au même résultat pour le cuivre et le protoxide de cuivre, c'est-à-dire que, de même qu'il se dégagerait la même quantité d'électricité dans les deux cas, puisqu'on emploie la même quantité d'éléments électro-négatifs, il se dégage la même quantité de chaleur.

Si des recherches ultérieures sur le dégagement de la chaleur dans les actions chimiques confirment le fait dont j'ai fait

mention, on aura un rapprochement de plus entre les deux agents, l'électricité et la chaleur, qui manifestent leur présence toutes les fois que l'équilibre moléculaire des corps est troublé.

DE LA DÉCOMPOSITION PAR ÉLECTROLYSATION DES COMPOSÉS SECONDAIRES, par J.-F. Daniell et W.-A. Miller. (Mémoire lu à la Société royale le 25 février 1844, et extrait du *Phil. Mag.*, juin 1844.)

Les auteurs de ce Mémoire ont continué les recherches que Mr. Daniell, l'un d'entre eux, avait déjà faites sur le même sujet en 1839 et 1840. Ce savant avait fait voir que, dans l'électrolysation d'une solution saline neutre, si le métal appartient à la catégorie de ceux qui ne décomposent pas l'eau à la température ordinaire, il est précipité à l'état métallique à l'électrode négatif; mais que, s'il est de ceux qui décomposent l'eau, il se dégage au pôle négatif un équivalent d'oxide, et qu'alors il y a au même pôle dégagement d'un équivalent d'hydrogène; dans les deux cas également, un équivalent d'acide et un d'oxigène se dégagent à l'électrode positif. En comparant ces résultats avec ce qui se passe dans un voltamètre indépendant, placé dans le même circuit, on trouve que la même proportion de force électrique qui décompose un électrolyte simple dans ses deux éléments, produit la décomposition d'un équivalent complet d'un électrolyte (*complexe*) en un simple équivalent métallique à l'électrode négatif, mais en deux équivalents, l'acide et l'oxigène, à l'électrode positif. Quand la solution saline mise dans le circuit est une solution ammoniacale, l'ammoniaque se dégage avec un équivalent d'hydrogène au

pôle négatif, et on a, au pôle positif, un équivalent d'oxigène et d'acide.

Les résultats que nous venons de rappeler sont favorables à deux théories importantes, savoir celle de Berzélius sur l'existence de l'ammonium, et celle de Davy sur la composition binaire des sels, théorie d'après laquelle tous les composés salins seraient analogues à ceux qui sont formés par l'acide hydrochlorique. Les recherches contenues dans le présent Mémoire montrent que cette composition binaire existe pour les sels, non-seulement quand pour les décomposer par le courant on les dissout dans l'eau, mais aussi quand on décompose des sels anhydres fondus au moyen d'une haute température; ainsi, en plaçant dans le circuit voltaïque du nitrate d'argent fondu, on obtient à l'électrode négatif de l'argent métallique qui s'y dépose à l'état crystallin.

En soumettant à l'action du courant les phosphates monobasiques, dibasiques et tribasiques, les auteurs ont trouvé trois modifications différentes dans l'acide qui s'est dégagé au pôle positif. Avec le phosphate monobasique, ils ont obtenu de l'acide métaphosphorique; avec le phosphate dibasique, de l'acide pyrophosphorique; avec de l'acide tribasique, de l'acide phosphorique ordinaire. Les acides étaient transportés dans une faible solution alcaline, et on a constaté leur présence au moyen des réactifs qui les font distinguer les uns des autres. Les idées de Mr. Graham sur la composition de ces sels seraient ainsi complétement confirmées.

D'un autre côté les auteurs ont trouvé, par des expériences du même genre, que lorsqu'on décompose par la pile, soit le prussiate rouge, soit le prussiate jaune de potasse, il n'y a qu'un seul et même composé de fer et de cyanogène qui, dans les deux cas, soit dégagé au pôle positif; c'est le ferrocyanogène, tel qu'il existe dans le sel jaune. Ils ont pu ainsi, au moyen de l'action électrolytique, non-seulement convertir le sel jaune en sel rouge, mais aussi reproduire le sel jaune au moyen du rouge.

La partie du travail des savants anglais qui avait pour objet les sels doubles, les a conduits à un nouvel ordre de faits assez remarquable, savoir que, lors même que les deux éléments d'un électrolyte sont toujours séparés en proportions équivalentes, ils ne sont pas constamment transportés en proportion équivalente à leurs pôles respectifs. Ainsi, il y a des bases telles que le cuivre, le zinc, le fer et l'alumine, qui ne vont pas en totalité au pôle négatif; il y en a d'autres, comme le magnésium, qui n'y vont qu'en très-faible proportion; d'autres enfin, telles que le barium et le potassium, sont transportées en grande abondance; les métaux dont les oxides sont les plus solubles paraissent être transportés avec le plus de facilité. D'un autre côté les acides, qu'ils forment des hydrates solubles ou non, paraissent être transportés vers le pôle positif dans des proportions qui dépendent essentiellement de la nature de la base avec laquelle ils sont combinés.

Les curieux phénomènes qui ont été mis au jour par les expériences dont nous venons de parler, conduisent à établir le fait général que la séparation des deux éléments contraires d'un électrolyte n'est pas toujours accompagnée, comme on l'admet ordinairement, du transport dans des directions opposées, vers les électrodes respectifs, d'un demi-équivalent de chacun. Mais quelquefois un équivalent entier de l'élément électro-négatif est transporté à l'électrode positif, par exclusion de l'équivalent de l'élément électro-positif qui n'éprouve point le même effet au pôle négatif. Il y a aussi, dans quelques cas, transport dans des directions opposées de quantités non équivalentes des deux éléments, mais formant ensemble une quantité totale équivalente de matière transportée en partie à l'un des électrodes, en partie à l'autre; ou en d'autres termes, transport en totalité d'une quantité de matière correspondante à un équivalent de force chimique; de sorte, par exemple, que si l'élément transporté à l'électrode positif excède un demi-équivalent, celui qui est transporté à l'électrode négatif est

inférieur d'autant à un demi-équivalent et réciproquement. Le seul cas toutefois qu'on n'ait jamais observé, c'est celui dans lequel un équivalent entier d'élément électro-positif serait transporté au pôle négatif à l'exclusion de l'élément électro-négatif qui ne serait point transporté.

DESCRIPTION D'UNE SÉRIE D'EXPÉRIENCES FAITES AVEC LA BATTERIE A EAU, SUIVIE DE RECHERCHES DIRIGÉES DANS LE BUT D'ÉTUDIER LA RELATION ENTRE LES EFFETS CHIMIQUES ET ÉLECTRIQUES QUI ONT LIEU AVANT ET APRÈS QUE LE CIRCUIT EST FERMÉ, par J.-P. GASSIOT. (*Mémoire communiqué à la Société royale le* 25 *janvier* 1844.)

J'ai déjà eu l'occasion de parler[1] de la puissante batterie voltaïque, chargée uniquement avec de l'eau pure, qu'a construite Mr. Gassiot. L'auteur vient lui-même de publier les expériences qu'il a faites avec cet appareil. En attendant que nous puissions communiquer à nos lecteurs le Mémoire original, nous en donnons un extrait que nous empruntons au *Phil. Mag.* de juin 1844.

La pile de Mr. Gassiot se compose de 3520 couples formés par des cylindres de cuivre et de zinc. Chaque couple est placé dans un vase de verre séparé ; l'isolement le plus complet est obtenu au moyen de supports en verre recouverts de vernis à la gomme laque. Les couples sont distribués en 44 séries distinctes, de 80 couples chacune, et placées sur des supports en bois de chêne recouverts également de vernis isolant.

Voici les conclusions que l'auteur tire des faits qui sont contenus dans son travail :

[1] *Archives de l'Électricité*, année 1843 (t. III), p. 311.

1° Les éléments qui composent la batterie voltaïque prennent déjà une tension polaire avant que le circuit soit complet, même quand il n'y a encore qu'un seul couple ; c'est ce dont on s'assure par l'effet électrique contraire qu'éprouve un électroscope placé successivement à chacun des pôles de la batterie.

2° Quand la série des couples est considérable, la tension devient si forte qu'il se dégage une succession d'étincelles entre les extrémités polaires de la batterie, avant même qu'elles aient été mises en contact.

3° Les effets statiques de la batterie précèdent la fermeture du circuit et en sont complétement indépendants ; ils sont également indépendants de toute action chimique ou dynamique.

4° L'effet dynamique du courant sur le galvanomètre est le même, que ce courant soit établi par le contact métallique des deux extrémités polaires de la pile, ou seulement par un rapprochement opéré entre elles et suffisant pour qu'il se détermine une succession d'étincelles. Dans ce dernier cas, la déviation de l'aiguille accompagne la production de chaque étincelle. De là on peut conclure que le courant, même lorsque le circuit est fermé, peut être considéré comme une série de décharges, dues aux électricités opposées de tension, et se succédant les unes aux autres avec une extrême rapidité.

5° Dans une batterie, telle que celle à eau, dans laquelle les éléments chimiques n'ont qu'une faible affinité les uns pour les autres, la tension ne se produit que lentement.

6° On ne peut produire même des effets statiques dans une batterie voltaïque, qu'autant que les éléments chimiques qui entrent dans sa formation sont susceptibles de se combiner entre eux ; et plus leur affinité mutuelle est considérable, moins il est nécessaire, pour produire de hauts effets de tension, que le nombre des couples dont la série est formée soit considérable. Les effets statiques qui sont produits par une série voltaïque sont donc évidemment le résultat du premier degré de combinaison chimique qui doit produire l'action dynamique.

L'auteur termine en observant que les effets chimiques qu'il obtient au moyen de sa batterie sont très-faibles, mais qu'ils ont exactement le même caractère que ceux qui sont dus à des piles voltaïques beaucoup plus puissantes; il en conclut que la cause qui les produit est la même et qu'il n'y a d'autre différence que celle qui résulte de la différence que présente l'énergie de ces causes.

Je ne puis m'empêcher de remarquer que, dans la troisième partie de mon travail intitulé : *Recherches sur la cause de l'électricité voltaïque* [1], j'étais arrivé aux mêmes résultats que Mr. Gassiot. J'avais trouvé, comme lui, qu'une pile chargée avec de l'eau pure acquiert beaucoup plus lentement la tension qui se manifeste à ses deux pôles; qu'il faut un certain temps pour qu'elle se charge, tandis qu'avec de l'eau acidulée l'effet est instantané. J'avais également remarqué que si la résistance de la pile est la même (condition essentielle et dont ne parle pas Mr. Gassiot), le nombre de couples nécessaire pour produire le même degré de tension aux deux pôles est d'autant moindre que l'affinité chimique est plus grande entre les éléments qui sont en présence et qui se combinent. Enfin j'étais arrivé aux mêmes conclusions que le savant physicien anglais, savoir que les effets statiques de la pile sont dus à une action chimique aussi bien que les effets dynamiques, et qu'ils sont la manifestation du commencement de cette action qui, prolongée, produit le courant quand le circuit est fermé.

Mr. Gassiot a opéré sur une échelle beaucoup plus grande que celle sur laquelle j'avais fait mes expériences, la pile à eau que j'avais employée n'ayant que 100 couples. Il a donc établi sur une base encore plus solide ce que j'estime être les vrais principes sur l'origine de l'électricité voltaïque, tant statique

[1] *Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève*, t. VII, p. 188.

que dynamique; et sous ce rapport il a, par ses recherches persévérantes et coûteuses, rendu un vrai service à la science.

A. DE LA RIVE.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA DÉCOMPOSITION VOLTAÏQUE DES SOLUTIONS, par A. CONNEL. (*Phil. Mag.*, mars 1844.)

L'auteur rappelle qu'il a publié, il y a quelques années, des expériences sur la décomposition voltaïque des solutions de combinaisons binaires, telles que des acides ou des alcalis, expériences desquelles il résulte que, dans les cas dont il s'agit, l'eau seule de la dissolution éprouve l'action décomposante directe du courant. Cette conclusion n'est point applicable au cas des dissolutions de sels ordinaires, dans lesquels l'acide et l'alcali sont séparés par l'action du courant, en même temps que l'eau est décomposée ; mais quand on plonge l'électrode positif dans les solutions de certains sels métalliques, telles que celle de sulfate de cuivre, et qu'on place l'électrode négatif dans de l'eau distillée qui est mise en communication avec le sulfate de cuivre par une mèche d'asbeste (amiante), on ne voit apparaître ni métal ni oxide, tandis qu'en renversant les pôles, on aperçoit immédiatement du cuivre réduit, qui se dépose sur l'électrode négatif immergé dans la solution de sulfate de cuivre; réduction qui, suivant l'auteur, est due à l'action de l'hydrogène naissant, qui provient de la décomposition de l'eau.

Mr. Daniell, à peu près dans le même temps, modifia un peu l'expérience : pour avoir un courant plus fort, il remplaça l'eau distillée par une solution de potasse, et employa une membrane animale pour séparer les deux solutions. En plongeant l'élec-

trode négatif dans la solution alcaline et le positif dans la solution de sulfate de cuivre, il obtint au bout de dix minutes, avec une batterie à force constante de 20 couples de grandes dimensions, un dépôt sur la membrane de cuivre métallique mélangé avec de l'oxide noir et de l'hydrate d'oxide bleu de cuivre.

Devons-nous conclure de cette expérience que le dépôt de cuivre est, dans le cas dont il s'agit, le produit de l'action directe du courant? L'auteur pense que cette conclusion ne découle pas de l'expérience en question aussi naturellement que cela paraît être au premier abord. Il rappelle d'abord que, dans l'hypothèse qu'il combat, il faut admettre que le cuivre qui se dirige vers l'électrode négatif, arrive à la membrane qui sert de cloison, et dans les pores de laquelle il rencontre l'oxigène qui marche dans une direction opposée et qui provient de la décomposition de l'autre solution; qu'une grande partie du cuivre se combine avec l'oxigène et forme l'oxide qu'on trouve sur la membrane, et qu'une partie n'effectue pas cette combinaison et se dépose à l'état métallique, pendant que son équivalent d'oxigène s'échappe. Mais ne peut-on pas aussi concevoir que, dans la supposition que l'eau éprouve une décomposition directe des deux côtés de la membrane, la substance même de cette membrane présente un obstacle à l'union de l'oxigène et de l'hydrogène qui cheminent dans des directions opposées, et que, si une partie de l'hydrogène échappe à la combinaison, elle réduit une partie de la solution de cuivre, comme elle le ferait au pôle lui-même? Ainsi l'expérience n'est décisive ni dans un sens ni dans l'autre. Si on ne voyait apparaître sur la cloison, ni métal, ni oxide, ce serait décisif contre l'opinion d'une décomposition directe de l'oxide ou de l'oxisulphion opérée par le courant; d'un autre côté, comme nous venons de le voir, le fait observé ne prouve pas non plus l'existence certaine de la décomposition directe.

Pour chercher à résoudre la question, ou du moins à jeter

quelque lumière sur le sujet, l'auteur remarque que la membrane qui sert de cloison n'est pas le seul obstacle qui s'oppose à la combinaison, mais que l'oxide de cuivre qui se dépose sur elle augmente cet obstacle, non-seulement en pénétrant dans les pores, mais en formant une couche sur sa surface. Dès lors le meilleur moyen à employer, ce serait de faire usage d'une solution qui contiendrait une substance capable également, en se déposant sur la membrane, d'augmenter l'obstacle, et en même temps une autre matière sur laquelle l'hydrogène pourrait exercer une action secondaire, dans le cas où ce gaz éprouverait réellement de la difficulté à s'unir avec l'oxigène qui se trouverait de l'autre côté de la cloison. Le sel qui semble présenter à cet égard les conditions les plus favorables, est l'iodate de magnésie. En effet, si on substitue une solution de ce sel à celle du sulfate de cuivre, le magnésium transporté par l'action directe du courant vers la membrane devra former sur elle un dépôt de magnésie, son affinité pour l'oxigène étant trop énergique pour qu'il ne se combine pas avec ce gaz qui arrive dans une direction opposée. D'un autre côté, si l'eau éprouve une décomposition directe, et si le dépôt de magnésie qui résulte de la décomposition de l'iodate offre un obstacle réel à l'union de l'oxigène et de l'hydrogène qui arrivent sur les deux surfaces de la membrane, on devra s'attendre à voir la partie de l'hydrogène qui échappe à la combinaison réduire sur la cloison l'acide iodique, comme cela a lieu quand ce gaz se dégage sur un électrode plongé dans une solution de cet acide ou de l'un de ses sels.

L'auteur décrit l'appareil au moyen duquel il a répété l'expérience de Daniell avec le sulfate de cuivre et la solution de potasse, et confirmé l'exactitude des résultats que nous avons déjà exposés plus haut; c'est avec ce même appareil qu'il a fait l'expérience dont il avait conçu l'idée et dont nous venons de parler. Il indique quelles précautions il a prises pour éviter

le mélange des solutions ; nous ne le suivrons pas dans ces détails, et nous nous bornerons à rapporter le résultat de son expérience, qui fut tel qu'il l'avait prévu. — D'un côté de la membrane l'auteur avait placé la solution d'iodate de magnésie, et de l'autre une solution d'amidon. Au bout de trois ou quatre minutes de passage du courant, on observa que la matière bleue commençait à se déposer sur le côté positif du diaphragme et à se former en grande quantité ; on n'apercevait rien du côté négatif ; en examinant au bout de vingt minutes d'action la matière bleue, on la trouva mélangée avec de la magnésie. On peut conclure de là que tout l'hydrogène qui provient de la décomposition de l'eau ne réussissant pas à s'unir à l'oxigène qui arrive de l'autre côté du diaphragme, à cause de l'obstacle croissant qui résulte du dépôt de la magnésie, une partie de cet hydrogène s'unit à l'état naissant à l'oxigène de l'acide iodique, et libère ainsi l'iode, qui forme avec l'amidon le composé bleu ordinaire.

Avec l'iodate de potasse, il n'y eut qu'une légère trace de formation de matière bleue ; avec l'acide iodique, il ne s'en forma point du tout. Cela semble prouver que lorsque, comme dans le premier cas, le dépôt est formé par une solution concentrée de potasse qui s'accumule sur un côté du diaphragme, l'obstacle qui s'oppose à l'union de l'oxigène et de l'hydrogène est bien faible, et qu'il est nul dans le second cas où il n'y a que de l'acide iodique au lieu d'un iodate, et où il n'y a par conséquent pas formation d'un dépôt sur l'un des côtés du diaphragme.

L'auteur termine son travail par quelques considérations relatives à l'opinion qu'il soutient, que des composés tels que l'acide iodique et le bromure d'iode ne sont pas décomposés par le courant, et que cette décomposition, si elle avait lieu, devrait faire apparaître finalement l'iode au pôle négatif. Il ajoute encore quelques remarques sur l'analogie qui existe, selon lui, entre les sels haloïdes dissous et les sels hydracides,

quant à la décomposition qu'en opère le courant, admettant que l'élément électro-négatif qui se montre dans cette décomposition est dû à une action secondaire, comme il l'a déjà démontré dans ses précédentes recherches.

DU CARACTÈRE INTERMITTENT DU COURANT VOLTAÏQUE DANS CERTAINS CAS D'ÉLECTROLYSE, ET DE L'INTENSITÉ DE DIFFÉRENTES COMBINAISONS VOLTAÏQUES, par Mr. JOULE. (*Phil. Mag.*, février 1844.)

Il n'a pu échapper à aucun physicien que, dans quelques cas de décomposition électro-chimique, l'aiguille du galvanomètre, renfermée dans le circuit, indique, par son instabilité, un flux tout à fait irrégulier d'électricité. Mr. Joule, n'ayant trouvé aucune description de ces phénomènes, qui sont généralement si peu prononcés qu'on a peut-être pensé qu'ils étaient dus à quelque cause fortuite ou sans importance, a cru devoir en faire le sujet de quelques recherches dont voici un extrait.

L'expérience fondamentale a été faite comme il suit. — On plonge deux plaques de fer dans une solution étendue d'acide sulfurique, et on met en communication avec les pôles d'une batterie consistant en six grandes auges de Daniell montées en série. Après que l'électrolyse s'est manifestée pendant quelques minutes, on observe que l'aiguille du galvanomètre, renfermée dans le circuit, indique, par son instabilité, une grande irrégularité dans le courant électrique. En mettant seulement une auge de la batterie en communication avec les électrodes en fer, l'électrolyse paraît s'effectuer librement, et l'aiguille acquiert plus de fixité.

Avec des électrodes en cuivre, plongés dans une solution de sept parties d'eau et une partie d'acide sulfurique concentré, on n'observe pas les soubresauts subits de l'aiguille, mais le courant diminue invariablement et très-rapidement pendant la première ou la seconde minute, puis augmente pendant un certain temps, et, après un certain intervalle, arrive au même degré d'intensité observé d'abord.

Avec le zinc amalgamé comme électrode positif d'une batterie de six grandes auges, on obtient un résultat curieux : l'aiguille est assez fixe d'abord, mais au bout de peu de temps elle commence à osciller de la manière la plus capricieuse dans un arc d'environ 10°. Quelquefois elle s'arrête pendant quelques secondes, puis saute subitement, et, avant d'avoir atteint son état d'équilibre dans sa nouvelle position, revient à sa position première. Ces irrégularités du courant sont accompagnées d'un changement visible dans le caractère de l'électrode, et à des intervalles de une à deux secondes un voile blanchâtre couvre la surface du zinc amalgamé, puis disparaît tout à coup en laissant le métal brillant. Les pulsations du courant sont évidemment simultanées avec les changements d'aspect de l'électrode, et l'aiguille reçoit une nouvelle impulsion toutes les fois que le voile blanchâtre se dissipe subitement.

Mr. Joule avait fait ces expériences il y a déjà plus d'un an. Il les a complétées récemment et variées de diverses manières, puis il a cherché à les expliquer en invoquant tour à tour les théories du professeur Daniell ainsi que celle sur les sels de Davy et Graham.

En général, selon lui, il faut un courant d'une certaine intensité pour produire des effets intermittents. Si le courant est trop faible, le fer continue à être dissous ; s'il est trop fort, le fer, après quelques moments d'action, commence et continue à développer de l'oxigène. La qualité du fer paraît aussi jouer un très-grand rôle. Avec quelques espèces de fer et avec l'acier, on ne réussit pas du tout, tandis qu'avec d'autres on obtient

des effets d'intermittence avec une batterie de deux, trois, quatre et même cinq auges de Daniell.

En répétant depuis sa première expérience avec un électrode positif de zinc amalgamé, Mr. Joule a trouvé que toutes les fois qu'une batterie de six ou dix grandes auges est en communication avec une plaque de zinc amalgamé, plongée comme électrode positif dans une solution d'acide sulfurique, le phénomène curieux du voile se manifeste sur le zinc avec ses alternatives rapides, et que, si on divise le courant de la batterie entre deux auges électrolytiques semblables, le voile disparaît au même moment sur les deux électrodes de zinc amalgamé, cas observé aussi déjà avec le fer.

Nous avons emprunté à *l'Institut*[1] la partie de l'extrait du Mémoire de Mr. Joule que nous venons de rapporter; nous tirons du Mémoire lui-même l'analyse du reste du travail du physicien anglais.

Mr. Joule, après avoir décrit les expériences qui précèdent et d'autres du même genre, ajoute qu'il avait déjà consigné ces faits par écrit lorsqu'il a eu connaissance du travail de Mr. Schœnbein sur la passivité intermittente du fer; mais il n'a pas cru devoir supprimer la publication de ses expériences, vu les différences bien tranchées qu'elles présentent avec celles du physicien allemand. Mr. Joule rapporte ici les expériences de Mr. Schœnbein, telles qu'elles sont consignées dans les *Archives de l'Electricité*, auxquelles il en a emprunté la description; puis il fait sentir en quoi consistent les différences qui existent entre les deux classes d'expériences. Celles de Mr. Schœnbein ont été faites avec un simple couple de Grove; celles de Mr. Joule avec une pile composée de 2 ou de 5 couples de Daniell. Il résulte de là que lorsque, dans les expériences de Schœnbein, le fer prenait un état passif, le courant était entièrement interrompu, la batterie dont on faisait usage n'ayant pas

[1] *Institut* du 15 mai 1844.

une intensité suffisante pour produire l'électrolysation de l'eau, excepté lorsque l'oxigène dégagé par le courant pouvait se combiner avec le métal positif. Mais, dans les expériences de Mr. Joule, l'intensité de la batterie employée faisait que, lors même que le fer était à l'état positif, l'eau était décomposée d'une manière régulière dans ses éléments gazeux. Il faut encore observer que Schœnbein n'a obtenu des effets intermittents qu'autant qu'il diminuait l'intensité du courant provenant d'un simple couple, en réunissant les éléments de ce couple par un nouveau conducteur, savoir un fil métallique d'une certaine longueur, tandis que Mr. Joule a produit les alternatives en faisant usage, dans toute son intensité, du courant qui provenait d'une pile de Daniell de cinq grands couples. Ce dernier résultat démontre qu'un courant, même très fort, n'est pas capable de maintenir constamment à l'état passif un électrode positif de fer.

La seconde partie du Mémoire de Mr. Joule, dont nous n'avons encore rien dit, a pour objet l'étude des intensités des différentes combinaisons voltaïques. Nous la rapportons textuellement.

« On sait, dit l'auteur, que l'importante loi qui a été établie par les travaux de MM. Ohm, Fechner et de la Rive, est exprimée par la formule $E = \frac{A}{R}$, dans laquelle A est la force électromotrice, R la résistance à la conductibilité du circuit total, et E la quantité d'électricité circulant dans un temps donné. Par conséquent, si les résistances de différents circuits voltaïques sont amenées entre elles à un état d'égalité, la quantité de courant sera proportionnelle à la force électromotrice, et de là on déduit la méthode simple que voici, pour déterminer l'intensité d'une batterie : — On prend un bon galvanomètre pourvu d'un fil d'une grande résistance, et, le mettant successivement dans le circuit des différentes combinaisons voltaïques qu'on veut étudier, on considère les courants indiqués par

l'instrument comme donnant la mesure de leurs intensités.—J'ai ainsi dressé le tableau suivant des intensités de différentes combinaisons voltaïques, en faisant usage d'un galvanomètre qui, avec les fils qui lui étaient unis, présentait une résistance au moins 300 fois aussi grande que celle de la plupart des couples soumis à l'expérience. J'ai pris pour terme de comparaison l'intensité du courant développé par un couple ordinaire de Daniell, que j'ai nommée 100.

	Eléments négatifs.		Eléments positifs.		Intensité.
1	Platine	Acide nitrique	Solution de potasse	Amalga. de potassium	302
2	Fer passif	id.	id.	Am. de zinc	220
3	Coke	id.	id.	id.	225
4	Or	id.	id.	id.	234
5	Platine	id.	id.	id.	234
6	id.	id.	id.	Fer	169
7	id.	id.	id.	Cuivre	120
8	id.	id.	id.	Argent	66
9	id.	id.	id.	Platine	31
10	id.	id.	Solut. de sel ordin.	Am. de zinc	198
11	id.	id.	id.	Fer	146
12	id.	id.	id.	Cuivre	116
13	id.	id.	id.	Argent	95
14	id.	id.	id.	Platine	55
15	id.	id.	Solution de sulfate de soude	Am. de zinc	187
16	id.	id.	id.	Fer	147
17	id.	id.	id.	Cuivre	92
18	id.	id.	id.	Argent	53
19	id.	id.	id.	Platine	17
20	id.	id.	Acid. sulfur. étendu	Am. de zinc	187
21	id.	id.	id.	Fer	140
22	id.	id.	id.	Cuivre	91
23	id.	id.	id.	Argent	53
24	id.	id.	id.	Platine	37
25	id.	Peroxide de plomb avec acide sulfur.	Solution de potasse	Am. de zinc	277
26	id.	id.	id.	Fer	177
27	id.	Peroxid. de mangan. avec acide sulfur.	id.	Am. de zinc	237
28	id.	Peroxid. de mangan. avec ac. hydrochl.	id.	Argent	237

	Éléments négatifs.		Éléments positifs.		Intensité.
29	id.	Bichrom. de potasse.	id.	id.	161
30	id.	id.	Acid. sulfur. étendu	id.	102
31	id.	Bichrom. de potasse et acide sulfuriq.	Solution de potasse	id.	207
32	id.	id.	Acid. sulfur. étendu	id.	161
33	Cuivre	id.	id.	id.	116
34	id.	Bichrom. de potasse	id.	id.	79
35	id.	Sulfate de cuivre	Solution de potasse	id.	138
36	id.	id.	id.	Fer	66
37	id.	id.	id.	Cuivre	53
38	id.	id.	Solut. de sel ordin.	Am. de zinc	106
39	id.	id.	id.	Fer	55
40	id.	id.	id.	Cuivre	28
41	id.	id.	Solution de sulfate de soude	Zinc amalg.	104
42	id.	id.	id.	Fer	59
43	id.	id.	id.	Cuivre	8
44	id.	id.	Acid. sulfur. étendu	Zinc amalg.	100
45	id.	id.	id.	Fer	49
46	id.	id.	id.	Cuivre	4
47	Argent platinisé	Acide sulfur. étendu	id.	Zinc amalg.	65
48	id.	id.	id.	Fer	17
49	id.	id.	Solut. de sel ordin.	Zinc amalg.	68
50	id.	id.	Solution de potasse	id.	98

« De la Rive a montré récemment que l'emploi du peroxide de plomb ou du peroxide de manganèse, comme élément négatif d'un couple dans l'acide sulfurique étendu ou dans une solution saline, constitue une pile d'une intensité plus grande que celle de Grove [1]. On peut voir, dans le tableau, qu'une combinaison voltaïque formée avec du platine recouvert de peroxide de plomb humecté d'acide sulfurique, et du zinc amalgamé plongé dans une solution de potasse, fournit un courant moitié en sus aussi intense que celui que développe un couple ordinaire de Grove.

« Il faut encore observer qu'un seul couple formé selon l'une

[1] *Archives de l'Electricité*, année 1843 (t. III), p. 166.

quelconque des combinaisons voltaïques indiquées dans le tableau peut décomposer l'eau, pourvu que son intensité soit d'à peu près 200.

« Je pense qu'on peut déduire du tableau en question la loi générale suivante, savoir que *la différence entre les intensités de deux métaux quelconques électro-positifs, plongés dans des solutions semblables, est une quantité constante, quelques changements qu'on fasse subir aux éléments négatifs des couples*. Ainsi la différence entre les intensités des couples n° 47 et n° 48, est 48, entre les intensités des couples n° 20 et n° 21 est 47, et entre les intensités des couples n° 44 et n° 45, est 51. Ainsi encore la différence entre les n°s 10 et 12 est 82, et entre les n°s 38 et 40 est 78, c'est-à-dire inférieure d'un vingtième seulement. »

Observations du rédacteur. — Cette dernière observation de Mr. Joule vient à l'appui de l'opinion que nous avons constamment soutenue, conformément à la théorie chimique, savoir que le métal négatif du couple ne joue qu'un rôle purement passif, celui d'un conducteur nécessaire pour fermer le circuit du courant développé par l'action chimique qui a lieu sur le métal positif. L'étendue et la nature du métal négatif, l'action chimique qui a lieu à sa surface dans le liquide où il plonge, peuvent bien influer sur l'intensité absolue du courant, par l'effet que ces circonstances exercent sur la conductibilité du circuit; mais les intensités relatives des courants produits par des couples différents, dans les cas où la comparaison est possible, ne dépendent que du métal positif et du liquide dans lequel il plonge.

A. DE LA RIVE.

DE QUELQUES PHÉNOMÈNES DE DÉCOMPOSITION VOLTAÏQUE, par W. BEETZ. (*Poggend. Annal.*, t. LXI, p. 209.)

Dans ces derniers temps on s'est beaucoup occupé, au double point de vue de la théorie et de la pratique, de la décomposition par le moyen de la pile, de divers liquides et particulièrement des sels métalliques. On a surtout cherché dans ces phénomènes des arguments en faveur de l'une ou de l'autre des théories galvaniques ; et voilà pourquoi on a plutôt cherché à répondre à la question: Y a-t-il ou n'y a-t-il pas une décomposition? qu'à celle-ci : Qu'est-ce qui se forme dans cette décomposition? en sorte qu'il est resté encore bien à faire pour le chimiste dans cette partie de la science. Il y a peu de temps, enfin, Mr. Becquerel a publié un travail qui a bien réellement pour but une explication pratique de la décomposition galvanique, mais dans lequel il a traité beaucoup de questions qui sont purement du ressort de la science. Il s'est surtout occupé des diverses combinaisons du plomb et du fer, qui, suivant les circonstances se déposent sur les électrodes quand on décompose les solutions de ces métaux. Quelques expériences sur le même sujet m'ayant conduit à des résultats qui ne sont pas complétement d'accord avec ceux de Mr. Becquerel, je prends la liberté de faire connaître les plus importants.

Mr. Becquerel s'est servi, pour décomposer ses combinaisons métalliques, d'un appareil qu'il considère comme le type des piles à courant constant, et qui consiste en deux liquides séparés l'un de l'autre par un diaphragme poreux, et mis en communication au moyen d'une lame de platine. Si on prend pour un des liquides un sel de plomb et pour l'autre de l'acide nitrique, l'eau qui tient le sel en dissolution se décompose, ainsi

que le sel lui-même; l'oxigène dégagé de l'eau transforme l'oxide de plomb en peroxide, tandis que l'acide nitrique est transformé en acide nitreux. Ce qui se passe là est très-simple. Il n'en est pas ainsi quand, au lieu du sel de plomb, on fait usage d'une solution d'oxide de plomb dans la potasse : la lame de platine qui plonge dans la solution prend il est vrai aussi une couleur brune, mais elle se recouvre en même temps d'un dépôt de couleur jaune clair. Mr. Becquerel dit à ce sujet : L'acide nitrique se décompose, l'oxigène se rend sur la lame qui se trouve dans la solution de potasse, et, au lieu de se dégager, agit sur l'oxide de plomb, qu'il fait passer à l'état non de peroxide brun de plomb, mais de *peroxide jaune*. Mr. Becquerel a recueilli cette substance et en a fait l'analyse. A cet effet il l'a soumise à l'action d'une température élevée, et il a considéré la perte comme de l'eau. Il a trouvé par ce moyen que la substance était du peroxide de plomb hydraté, puisque sous l'action d'une haute température elle donnait pour résidu du peroxide brun de plomb, dont la composition était assez rapprochée de celle qu'indique la formule $Pb\,O_2\ H_2\ O$. Sans parler de l'invraisemblance que présente l'existence de cette combinaison, on peut aisément, au moyen de quelques réactions, et en considérant la manière dont cette substance se forme, se convaincre que la composition doit en être différente. Si, par exemple, après l'avoir préparée à la manière de Mr. Becquerel, on la décompose avec de l'acide nitrique froid, la plus grande partie du dépôt qui s'est formé est décomposée à l'instant même, et il en reste un autre de couleur brune pure, sans qu'il se fasse aucun dégagement de gaz. Il faut donc que la substance soit un simple mélange de peroxide brun de plomb et d'oxide de même métal ou d'une combinaison de ce dernier. Et cela peut très-bien s'accorder avec l'analyse de Mr. B., car avant tout il s'agit de savoir si le résidu qu'on obtient quand on fait chauffer la substance est du peroxide de plomb. La couleur brune de ce résidu fait présumer qu'il en est ainsi;

mais le peroxide de plomb de Winkelblech donne aussi, quand il est soumis à une haute température, un résidu brun, qui n'est qu'un mélange d'oxide et de peroxide. On peut même mélanger du peroxidule de plomb avec une quantité considérable d'oxide ou d'hydrate, et toujours cependant obtenir une poudre brune en chauffant. D'ailleurs Mr. B. ne peut point avoir obtenu de peroxide de plomb, car on sait que cette substance perd une partie de son oxigène sous l'action d'une *température élevée*. Nous verrons plus loin comment on doit interpréter les nombres qu'il a trouvés en analysant la substance qui s'est déposée.

Mr. B. a remarqué que le précipité, qui présente une belle couleur jaune quand il est suspendu dans le liquide, prend une teinte sale quand on le met sur le filtre. Il lui a paru que ce changement devait être attribué à l'influence de la lumière. Je n'ai, dans mes expériences, observé aucune influence semblable; le changement de couleur me paraît bien plutôt avoir une cause purement mécanique. En effet, le précipité jaune a évidemment une pesanteur spécifique inférieure à celle du brun. Quand tous deux se séparent d'une solution, le brun tombe rapidement au fond du vase, tandis que le jaune reste suspendu, et paraît ainsi prédominant. Si l'on décante avec soin la liqueur, le précipité jaune s'en va avec le liquide, et il ne reste presque que le brun ; si, au contraire, on verse rapidement sur le filtre, les deux précipités se mélangent, ce qui produit une couleur jaune sale.

Voulant soumettre la substance jaune à l'analyse, j'ai cherché à m'en procurer une quantité plus considérable qu'on ne peut le faire selon la méthode employée par Mr. B. La solution d'oxide de plomb et de potasse a été mise dans un vase à part, où l'on a fait plonger les électrodes d'une petite pile de deux couples. Cette pile était composée de petits cylindres d'argile poreuse remplis d'amalgame liquide de zinc, et entourés eux-mêmes d'une solution de sulfate de cuivre, dans laquelle était

plongé un cylindre en cuivre ayant quatre pouces carrés de surface active[1]. Un seul couple de ce genre a décomposé très-faiblement la solution d'oxide de plomb, et au bout de douze heures la lame de platine seule était recouverte d'une mince couche de peroxide, et l'on n'apercevait pas de précipité dans le vase. Deux couples ont agi très-rapidement; et quand j'ai interrompu l'action après que tout l'oxide de plomb se fut séparé, il s'était déposé un précipité brun jaunâtre sale. Deux analyses de ce précipité ont donné les résultats suivants :

I. 0,806 gramm, chauffés au rouge dans une cornue de verre, ont donné 0,726 gramm d'oxide de plomb et 0,064 gramm. d'eau, qu'on a recueillis dans un tube rempli de chlorure de chaux.

II. 0,820 gramm. ont donné 0,739 gramm. d'oxide de plomb et 0,064 gramm. d'eau.

Dans chacune de ces analyses la somme de l'eau et de l'oxide de plomb est inférieure à la quantité de substance employée. Il faut donc que, outre l'oxide de plomb, cette dernière renfermât de l'oxigène qui s'est dégagé par l'effet de la chaleur. Voici quelle est sa composition centésimale :

	I	II
Pb O	90,05	90,12
$H_2 O$	7,94	7,80
O	2,01	2,08
	100,00	100,00

Mais les 2 pour cent d'oxigène dégagé ne suffisent absolument pas pour transformer tout l'oxide de plomb en peroxide; il faudrait 6,5 oxigène pour produire cet effet sur les 90 d'oxide de

[1] Mr. Wheatstone est le premier qui ait employé cette pile. On en trouve la description dans la relation de Mr. de la Rive : Sur l'état actuel de l'étude de l'électricité en Angleterre. *Archives de l'Electricité*, n° 9 (t. III), p. 338.

plomb. La substance analysée était donc formée d'un mélange d'hydrate d'oxide de plomb et de peroxide de plomb. Afin de dégager aussi la substance jaune de la faible proportion de peroxide qui y était mélangée, j'ai retiré l'électrode positif de la solution, de cinq en cinq minutes environ, et j'en ai enlevé le peroxide qui y était adhérent. Si on opère avec des précautions convenables, la chose peut très-bien se faire sans que, pendant la sortie de l'électrode, le peroxide se détache de la lame et se mêle au précipité jaune, car ce peroxide est passablement adhérent et tout-à-fait sec, et ne se détache de la lame qu'au bout d'un long intervalle de temps, tandis que la substance jaune nage sans consistance autour de l'électrode à la surface duquel elle n'est point adhérente. J'ai pris en même temps une seconde précaution. En effet, avec mon appareil il se séparait sur l'électrode négatif du plomb métallique, sous la forme de végétation très-délicate. Ce plomb pouvant, en se détachant, compromettre aisément les résultats de mon analyse, j'ai entouré l'électrode négatif d'un cylindre étroit en argile poreuse, rempli également d'une solution alcaline de plomb. J'ai réussi par ce moyen à obtenir un précipité jaune blanchâtre, exactement de la même couleur que celle du soufre qu'on a séparé de ses dissolutions. Sur le filtre il était jaune pâle pur, sans mélange de brun ; il n'a point bruni sous l'action de la chaleur, et a donné, par le traitement indiqué, les résultats suivants :

III. 0,383 gramm. ont donné 0,353 gr. d'oxide de plomb et 0,029 gr. d'eau.

IV. 0,926 gr. ont donné 0,853 gr. d'oxide de plomb, et 0,071 gr. d'eau. Ce qui fait pour 100 parties :

	III	IV
Pb O	92,16	92,12
H_2O	7,57	7,67
	99,73	99,79

Il résulte de ces analyses que cette substance n'était formée que d'hydrate d'oxide de plomb; en effet cet hydrate renferme :

$$Pb\,O \quad 92,54 \;, \quad H_2\,O \quad 7,46 = 100,00.$$

La faible nuance jaunâtre qu'elle présente doit être sans doute attribuée à ce qu'il s'y trouve encore une trace d'oxide d'un degré supérieur ; les analyses en indiquent bien la présence dans l'oxide de plomb.

L'analyse de Mr. Becquerel conduit à une composition toute semblable à celles qui ont été mentionnées. En effet il résulte des nombres qu'il rapporte que le résidu s'élevait à 92,18 pour cent, après avoir été exposé à l'action de la chaleur.

Il se fait donc une double décomposition dans la solution alcaline d'oxide de plomb : celle qui sépare l'hydrate de plomb d'avec l'eau, et celle de l'eau elle-même. Cette dernière exige un courant plus énergique que la première, ainsi que Mr. B. l'a lui-même remarqué. C'est ce qui explique pourquoi une pile de plusieurs couples donne un précipité toujours plus abondant. Mr. B. croit qu'un petit nombre de couples produisent un peroxide hydraté, et plusieurs un peroxide anhydre. Cependant il est plus aisé de comprendre qu'un grand nombre de couples, qui produisent une abondante décomposition d'eau, fournissent du peroxide, et qu'un petit nombre, avec lesquels il ne se fait qu'un faible dégagement d'oxigène, ne fournissent en grande partie que de l'oxide de plomb.

Mr. B. dit que lorsqu'il remplissait de sulfate de cuivre et d'une solution alcaline d'oxide de plomb, l'appareil qu'il a décrit, la lame de platine plongée dans le second liquide se recouvrait d'une légère couche de peroxide de plomb, tandis que celle qui se trouvait dans le premier liquide ne se recouvrait pas de cuivre métallique. Je dois avouer, à regret, que je n'ai jamais réussi non plus à obtenir le précipité de peroxide de plomb avec cet appareil ; la lame de platine a toujours entièrement conservé son apparence métallique. Ce phénomène me

paraissant être dû à ce que les pores du cylindre poreux étaient obstrués par l'effet de la rapide formation de l'hydrate de cuivre, j'ai, pour prévenir cet effet en partie du moins, acidulé assez fortement la solution de sulfate de cuivre; mais je n'ai obtenu aucun changement dans le résultat. Sitôt, au contraire, que je faisais agir un couple de ma petite pile, la décomposition commençait à s'opérer. Mais au moment où il se déposait du peroxide de plomb sur un des électrodes, l'autre se recouvrait aussitôt de cuivre métallique. La manière dont Mr. B. explique l'absence du dépôt de cuivre est en tout cas plus qu'hypothétique. Ni le sulfate ni le sous-sulfate d'oxidule de cuivre ne sont solubles; si donc un des deux venait à se former, on devrait le retrouver à l'état de dépôt sur l'électrode négatif. Lorsque le platine qui plonge dans la solution d'oxide de plomb, présente réellement un léger dépôt de peroxide de ce métal, il peut arriver que, si la très-faible proportion d'hydrogène correspondante à la formation de ce peroxide se dégage réellement, elle échappe aisément à l'observation, ou qu'elle soit absorbée par le liquide.

Mr. Becquerel a fait une seconde série d'expériences dans laquelle, avec une solution ammoniacale d'oxidule de fer, il a formé de l'oxide de fer par l'oxidation au moyen de la pile, et l'a fait précipiter sur diverses surfaces métalliques. Il a prévu avec beaucoup de justesse que plus d'un physicien, en répétant ses expériences, rencontrerait des difficultés dans la préparation de la solution ammoniacale, et c'est pour cela qu'il a prescrit de remplir d'ammoniaque concentré un flacon bouché à l'émeri, puis d'y verser une solution de sulfate de fer dépouillée de tout excès d'oxigène, jusqu'à ce qu'on voie se former un précipité. Il faut, en outre, que la solution ammoniacale d'oxidule de fer soit complétement limpide. Mais, quoique je me sois conformé à ces prescriptions, je n'ai pas pu échapper aux difficultés indiquées. J'avais bien purifié complétement la solution, soit, ainsi que l'indique Mr. B., en la mettant sous le vide de

la pompe pneumatique, soit en la faisant digérer avec de l'hydrogène sulfuré, et la soumettant ensuite à l'ébullition, en sorte que le précipité mélangé à de l'ammoniaque avait une couleur grisâtre. Cependant, quand j'ai versé goutte à goutte dans l'ammoniaque la solution de sulfate de fer, il s'est formé aussitôt un précipité. C'est là un fait généralement reconnu d'ailleurs, quoique d'autre part on sache aussi que de l'oxidule de fer mélangé avec des *sels ammoniacaux en excès* ne se précipite pas parfaitement bien ; mais il faut pour cela que l'excès des sels soit considérable, et il n'y a aucun excès dans le cas actuel ; en tout cas la solution renferme si peu d'oxidule de fer, qu'elle ne peut absolument pas être employée pour des expériences dans l'intérieur de la pile voltaïque, dans le but d'obtenir des dépôts appréciables comme c'est le cas ici. Mr. B. dit que, dans les solutions alcalines des oxides métalliques, on ne doit pas, pour obtenir un dépôt sur un métal, employer un métal dont l'oxide est lui-même soluble dans l'ammoniaque. Il ne faut donc pas employer du fer, car, conformément aux directions que donne Mr. B., l'oxidule de fer est soluble dans l'ammoniaque; cependant c'est précisément de fer que se sert Mr. B. pour former à sa surface des dépôts de ce genre. L'observation que fait Mr. B. que la solution donne très-facilement un dépôt d'oxidule de fer, que même ce dépôt est absolument nécessaire pour qu'elle puisse se former, cette observation semble faire supposer qu'il a opéré avec une solution ammoniacale qui tenait en suspension une faible proportion d'oxidule hydraté de fer. En effet le précipité reste assez longtemps suspendu pour recouvrir d'une légère couche d'oxide les métaux plongés dans le liquide.

Considérons maintenant l'influence que le courant galvanique peut, dans diverses circonstances, exercer sur cette substance en suspension. Quand la décomposition produite par la pile commence, l'oxigène se rend sur l'électrode positif, se combine avec l'oxidule de fer qui en est voisin, et le fait précipiter

à l'état d'oxide sur cet électrode. Par conséquent la couleur du dépôt est rouge. Si l'on prolonge l'action de la pile, la couleur du précipité devient plus foncée, et finit par être presque noire. Mr. B. explique ce résultat en disant que l'oxide déposé est moins bon conducteur que le platine, que par conséquent le courant est ralenti, et qu'il se forme alors de l'oxide de fer anhydre, tandis qu'auparavant il se formait de l'hydrate d'oxide de fer. Exposée à l'air, la substance noire prend une teinte rouge, ce que Mr. B. attribue à une absorption d'eau. Ce serait cependant bien un peu anomal que la substance noire absorbât de l'eau dans l'air, et point dans l'eau même. Au reste, voici une expérience bien simple qui sert à nous faire connaître la nature de cette combinaison. Elle ne rougit pas dans l'hydrogène ; donc le passage à la couleur rouge n'est autre chose que l'effet d'une oxidation, et la substance rouge est un oxide d'un degré inférieur, qui se forme parce que le courant s'affaiblit peu à peu et que, par conséquent, le dégagement d'oxigène au pôle positif devient moins considérable.

J'ai fait des expériences semblables avec une dissolution d'oxide de zinc dans de la potasse, et d'oxide de cuivre dans de l'ammoniaque ; mais je n'ai pas obtenu les mêmes résultats qu'avec l'oxide de plomb. Sur le pôle négatif il s'est dégagé du zinc métallique sous forme arborescente, et du cuivre métallique sous forme de couche solide, tandis qu'au pôle positif il y avait un dégagement d'oxigène. La solution de cuivre dont on se sert doit être tenue dans un vase fermé, sans quoi, si elle ne renferme pas un excès d'ammoniaque, elle donne d'elle-même naissance à un précipité de couleur bleue.

SUR UN NOUVEAU PROCÉDÉ POUR AUGMENTER A VOLONTÉ LA FORCE ÉLECTROMOTRICE D'UN COURANT GALVANIQUE, ET SUR LA POLARISATION GALVANIQUE EN GÉNÉRAL, par Mr. Poggendorff.

Pendant le cours des recherches[1] que j'aurai l'honneur de faire connaître à l'Académie dans l'une des prochaines séances, j'ai été assez heureux, dit Mr. Poggendorff, pour découvrir un principe propre à augmenter l'intensité ou la tension d'un courant électrique, principe dont l'application m'a paru nouvelle et assez intéressante pour en faire de suite l'objet d'une communication.

On sait que lorsque deux plaques homogènes de métal qu'on plonge dans un liquide conducteur, par exemple deux plaques de platine, communiquent avec une pile de Volta, elles manifestent presque instantanément ce qu'on a nommé une *polarisation*, par suite de laquelle elles affaiblissent d'une manière notable le courant de la pile, et que, lorsqu'on les sépare de cette pile, elles font naître, dans un fil métallique qui sert à les unir, un courant marchant en direction opposée, qui dure, il est vrai, peu de temps, mais possède toujours une force assez considérable. On sait aussi qu'on parvient ainsi à polariser, comme on dit, une série entière de ces couples de plaques; c'est ce qu'on nomme la pile secondaire de Ritter, pile qui a tant excité d'intérêt lors de sa découverte, et qui décompose l'eau, agit sur l'électromètre, donne des étincelles et même des chocs.

[1] Nous empruntons à *l'Institut* la première partie de cette Notice, qui est extraite des Comptes rendus des séances de l'Académie de Berlin, du 7 et 21 décembre 1843.

Pour vivifier une pareille pile qui, par elle-même, n'a aucune activité, on n'a, jusqu'à présent, connu d'autre moyen que d'employer une pile de Volta d'un grand nombre d'éléments, et par conséquent présentant une grande intensité dans son courant ; mais le courant secondaire, produit de cette manière, n'a jamais possédé une force électromotrice supérieure ou même égale à celle du courant primaire qui lui a donné naissance.

Des recherches délicates, entreprises sur la pile à gaz découverte, il y a peu de temps, par Mr. Grove, laquelle, en dernière analyse, n'est qu'une pile secondaire et, ainsi que je le démontrerai, un appareil imparfait, m'ont conduit à penser que, pour charger ces piles secondaires, il n'était pas nécessaire de se servir d'une pile primaire comptant plus ou même autant de couples que l'autre, mais qu'on parvenait à les exciter parfaitement bien à l'aide d'une pile simple de Volta, quelque grand que fût le nombre des plaques de la pile secondaire, et qu'on possédait ainsi un moyen d'accroître d'une manière presque infinie la force électromotrice d'un courant galvanique.

Le procédé est très-simple. — Supposons qu'on ait une série de plaques plongeant par couple dans des cellules qu'on a remplies d'acide sulfurique étendu ; désignons l'une des plaques dans chaque cellule par la lettre *H*, et l'autre par la lettre *O*. Le moyen employé jusqu'à présent pour obtenir une pile de Ritter, consiste à faire communiquer à l'aide d'un fil métallique la plaque *H* d'une cellule avec la plaque *O* de la cellule voisine, et à faire marcher le courant primaire à travers toute la série des cellules ou la longueur de la pile. C'est dans ce cas qu'il est nécessaire, quand on veut obtenir une pile secondaire d'une certaine activité, d'employer une pile de Volta qui présente au moins le même nombre de couples que la première.

Mon procédé à moi consiste en ceci. D'abord je fais com-

muniquer toutes les plaques H avec le zinc, et toutes les plaques O avec le platine d'une pile simple de Grove; par ce moyen toutes ces plaques se trouvent polarisées ou chargées, puisque les plaques H se recouvrent d'hydrogène, et les plaques O d'oxigène, et toutes le sont également et tout aussi fortement que si on avait fait communiquer une seule plaque, mais d'une grandeur égale à leur somme, avec la pile primaire. Lorsque cette communication a duré un certain temps, je l'interromps vivement, puis je combine ensemble les couples chargés d'après le principe de la pile, et simultanément avec un galvanomètre, dans le cas où j'ai l'intention d'observer l'action chimique du courant secondaire.

Le courant secondaire ainsi obtenu possède une force électromotrice qui dépasse d'autant plus en général le courant primaire de la pile simple que le nombre des couples de plaques est plus grand dans la pile secondaire; et quoique cette force ne croisse pas indéfiniment avec ce nombre, attendu que les plaques sont polarisées d'autant plus faiblement qu'elles sont plus nombreuses, elle continue néanmoins à croître aussi longtemps que la résistance dans la pile primaire est plus faible.

Ce courant secondaire n'a, il est vrai, qu'une courte durée, et cette durée diminue proportionnellement à l'élévation de la force électromotrice; c'est ce qu'on comprend aisément, quand on songe que la pile secondaire dans son chargement ne reçoit pour chaque équivalent d'eau décomposé dans la pile primaire que des parties aliquotes de l'équivalent d'eau décomposé, c'est-à-dire que ces parties sont partagées entre toutes les cellules, et que chaque cellule, en supposant que leur nombre soit n, ne reçoit que la $\frac{1}{n}$ partie d'un équivalent, ou une partie aliquote d'autant plus faible que n ou le nombre des cellules est plus grand. La combinaison de ces fractions de $\frac{1}{n}$ d'équivalent qui accompagne le courant secondaire, en sup-

posant égales les résistances dans la pile secondaire et les cellules primaires, se fera donc dans le $\frac{1}{n}$ du temps qu'a exigé la décomposition d'un équivalent entier.

Il en résulte que lorsqu'on veut employer le courant secondaire à tout autre usage qu'à produire un choc instantané, il faut répéter très-fréquemment l'opération indiquée. Or ce travail ne saurait se faire à la main seule ; car, quoique l'opération soit simple en elle-même, elle exige, quand on opère ainsi, tant de temps, que pendant qu'on monte la pile une grande portion de son action se dissipe.

A l'aide d'une petite disposition mécanique, ou d'un appareil de construction à peu près semblable à celui qu'on emploie pour établir sa communication et le circuit dans l'étude des courants, on parvient à opérer très-aisément et très-lestement le chargement et le déchargement des piles secondaires. J'ai établi ainsi, avec quelques montants en bois, du mercure et du fil de cuivre, un appareil de cette espèce, au moyen duquel je puis facilement répéter chaque double opération, et avec un seul doigt, depuis 200 jusqu'à 300 fois par minute. On n'obtient ainsi, il est vrai, qu'un courant intermittent, mais qui agit suffisamment longtemps pour être appliqué à différentes expériences.

Les physiciens, qui disposent de moyens puissants, produiront facilement des effets très-énergiques quand ils appliqueront ce principe à des batteries de plusieurs centaines de plaques en platine. Quant à moi, je me suis trouvé borné à un nombre très-limité ; je n'ai pu y appliquer que quatre couples où chaque plaque présentait deux pouces et demi carrés de surface de chaque côté. Les effets d'une petite pile de cette espèce ont dû naturellement être faibles, et cependant je pense les avoir observés avec assez de soin pour mettre hors de doute la certitude du principe et son application aux grandes batteries.

Comme pile primaire, je me suis servi de la pile simple de Mr. Grove; on sait qu'au moyen de cette pile l'eau d'un voltamètre n'est décomposée qu'en faible proportion avec des plaques de platine. Les plaques se recouvrent seulement au fond de quelques bulles de gaz, et bien peu de celles-ci se dégagent. Si on établit une communication avec l'appareil indiqué ci-dessus entre cette pile et la pile secondaire, en interposant un galvanomètre, et qu'on mette la première en activité, on a aussi une très-vive décomposition, preuve évidente que la force électromotrice du courant secondaire est beaucoup plus énergique que la primaire qui lui a donné naissance.

Avec un voltamètre dont les plaques présentaient trois pouces carrés de surface, je n'ai obtenu, avec de l'eau aiguisée d'acide sulfurique, que cinq à six centimètres cubes de gaz détonant par minute, tandis qu'avec l'appareil j'en ai recueilli dans le même temps quatre-vingts fois autant.

Avant de commencer ces essais, j'en avais attendu une action plus considérable. Toutefois, après un peu de réflexion, je n'ai pas tardé à me convaincre que celle que j'avais obtenue était déjà sous un certain rapport assez remarquable. En effet, tandis que ces six centimètres cubes de gaz se dégageaient dans le voltamètre, il fallait, d'après les principes bien connus et qui ont été confirmés récemment par les nouvelles expériences de Mr. Grove, que, dans chacune des quatre cellules de la pile secondaire, six centimètres cubes de ce mélange de gaz se réunissent pour faire de l'eau, et que cette quantité du mélange gazeux eût été dégagée précédemment de l'eau par l'effet de la pile primaire. Il fallait ainsi que la pile primaire qui, sans le jeu de l'appareil de communication et par la dépolarisation des plaques de platine qui en résultait, ne dégageait peut-être pas 0,1 centimètre cube à la minute en gaz détonant, en dégageât de l'eau avec cet appareil, 6×4, c'est-à-dire 24 centimètres cubes dans le même temps. Or c'est là une action que, dans la communication directe avec un voltamètre, on n'a pas encore

obtenue avec deux piles de Grove aussi petites que celle dont je me suis servi, et combinées en une seule pile qui en réalité avait une action si bien double d'une seule, que les pauses et la durée de la fermeture du circuit nécessaire pour charger la pile secondaire ne dépassaient guère une demi-minute.

Du reste la décomposition de l'eau ne tarde pas aussi à se montrer lorsque, dans les circonstances précédentes, on ne fait usage que de deux cellules de la pile secondaire ; seulement elle est plus faible. J'ai obtenu 1,5 cent. cube de gaz par minute. Elle dépend naturellement du jeu de l'appareil de communication ; plus celui-ci agit avec rapidité, plus aussi est grande, du moins dans les limites de mes expériences, la quantité de l'eau décomposée.

Avec un petit voltamètre les quatre cellules de la pile secondaire ont donné, quand je les ai excitées avec une pile simple de Grove, *quatre* centimètres cubes de gaz à la minute. Lorsqu'au lieu d'une seule pile de Grove j'en ai combiné deux, dont je me suis servi pour le chargement, j'ai obtenu 8 cent. cubes de gaz dans le même temps.

L'action de la batterie secondaire augmente donc avec l'intensité du courant de la batterie primaire. C'est parfaitement dans l'ordre, mais on voit aussi que, lorsqu'on a accru l'intensité du courant primaire, il faut aussi augmenter le nombre des couples dans la pile secondaire, ainsi que leur faculté conductrice, si l'on se propose d'obtenir une action d'une plus grande force.

Toutefois, dans le cas même qui vient d'être cité, il y a un affaiblissement. En effet, la pile primaire, mise directement en communication avec le voltamètre, aurait dû fournir environ 20 cent. cubes de gaz par minute, tandis que la pile secondaire excitée par elle n'en a donné que 8 (ou, à proprement parler, 16, puisque la pile secondaire n'a réagi que pendant la moitié du temps).

Cette conclusion toutefois n'est relative qu'à l'effet utile de

l'action de la pile secondaire sur le voltamètre. L'action de la pile primaire est toujours renforcée par le jeu de l'appareil de communication, quelque faible que soit le nombre des cellules dans la pile secondaire, lorsque celles-ci en somme n'offrent pas une résistance supérieure à celle du voltamètre. Dans le cas cité, la pile primaire a fourni, au lieu de ces 20 cent. cubes, au moins 8×4, c'est-à-dire 32 cent. cubes dans la pile secondaire, tandis que celle-ci n'en dégage que 1×8 cent. cubes dans le voltamètre.

Il est donc manifeste que l'action chimique de la pile secondaire dépend nécessairement de l'action chimico-galvanique dans la pile primaire, et que, sous ce rapport, il ne faut pas s'attendre, dans l'emploi d'une pile secondaire, à une économie sur la consommation du zinc. Lorsque celle-ci décompose un équivalent d'eau, il faut qu'il se reforme dans chacune de ses *n* cellules un équivalent d'eau, et ces *n* équivalents d'eau formée supposent toujours que, dans la pile primaire, en admettant qu'elle soit simple, *n* équivalents de zinc se sont dissous par voie électrolytique, et par conséquent la même quantité que celle qui se serait dissoute pour exercer une action semblable dans la pile secondaire, en supposant toutefois qu'au lieu d'hydrogène elle eût été pourvue de zinc comme élément positif. Le courant primaire aurait consommé $2 \times n$ équivalents en zinc, s'il eût été produit par une pile composée de deux piles simples. L'emploi de l'appareil de communication et de la pile secondaire a seulement l'avantage qu'avec son secours une certaine quantité de zinc, dans la pile primaire, se dissout par voie électrolytique, quantité qui, sans son intervention, ne se serait pas dissoute du tout ou pas du moins dans le même temps. La quantité dans l'unité de temps de l'électricité en circulation a augmenté, mais cette quantité n'est pas dans la pile secondaire plus considérable que dans la pile primaire.

Quand on fait usage d'une pile primaire, composée de deux appareils de Grove, on a du reste l'occasion d'observer que la

vive décomposition d'eau qui se manifeste dans les cellules de la pile secondaire, aussitôt qu'on fait intervenir l'appareil de communication, à l'aide duquel on complète le circuit de la pile primaire, cesse presque aussitôt pour la vue dès qu'on met vivement cet appareil en mouvement. Il est clair que la faible quantité de gaz mélangés qui devient libre sur les plaques dans le court instant de l'action alternative du courant primaire adhère à ces plaques, sans prendre la forme de bulles, jusqu'au moment suivant où, la fermeture de la pile secondaire étant détruite, elle se transforme de nouveau en eau.

Lorsque l'action chimique du courant secondaire doit être augmentée, il faut nécessairement, ainsi qu'on vient de le faire voir, renforcer aussi l'action chimique du courant secondaire.

Un renforcement de cette nature n'est plus indispensable lorsqu'on n'a besoin que d'une élévation dans la force électromotrice. Celle-ci croît, en effet, comme le nombre des cellules de la pile secondaire, et on a en son pouvoir de l'accroître autant qu'on veut. Néanmoins, pour obtenir une action énergique, il est naturellement préférable de rendre cette force, dans chaque cellule distincte, aussi puissante qu'il est possible.

La polarisation, ou la force antagoniste électromotrice qui résulte de l'accumulation des particules gazeuses de l'eau sur les plaques de la pile secondaire, a, ainsi que MM. Lenz, Wheatstone et Daniell l'ont démontré, un maximum, et ce maximum paraît être déjà atteint lorsqu'on fait usage de deux piles de Grove combinées. Une pareille pile serait donc suffisante pour donner naissance à une force électromotrice quelconque, et par conséquent à des étincelles et des chocs suivant tel rapport qu'on pourrait désirer, dès qu'on augmenterait seulement le nombre correspondant des paires de plaques dans la pile secondaire, et qu'on diminuerait en même temps la résistance dans la pile primaire ; ou bien, si cette disposition ne donnait pas les résultats désirés, en augmentant la durée de l'action du courant primaire. Malheureusement il ne m'a pas

été possible, par les raisons alléguées, de poursuivre l'examen de cet ordre de phénomènes. Néanmoins je me suis assuré que la pile secondaire, qui est excitée par une pile simple de Grove, donne des étincelles, consistât-elle en quatre, trois, deux et même un seul couple. Dans le dernier cas les étincelles sont très-faibles, mais encore sensibles. C'est la première fois qu'avec un seul couple de plaques de platine polarisées on a obtenu, je crois, des étincelles électriques. Toutes ces étincelles, à l'exception de celles qu'on obtient d'un seul couple, ne se manifestent bien distinctement que lorsqu'on ferme le circuit de la pile secondaire, et non pas quand on l'ouvre. Elles apparaissent constamment après les étincelles qui se montrent de l'autre côté de l'appareil de communication à l'ouverture préalable de la pile primaire. Avec un seul couple de grande dimension, 29 pouces carrés de surface de chaque côté, j'ai obtenu régulièrement des étincelles à l'ouverture du circuit, même plusieurs, les unes après les autres, sans que les plaques eussent préalablement communiqué avec la pile primaire. Seulement quelquefois, lors de la clôture, il ne se manifeste qu'une seule étincelle; mais je n'affirmerai pas que ce soit une véritable étincelle due à cette clôture, attendu qu'on sait que le mercure peut, à cet égard, donner lieu à des erreurs.

Deux considérations, relativement aux phénomènes qui viennent d'être exposés, me paraissent présenter un intérêt particulier.

La première est relative à la question de savoir si un courant électrique peut passer à travers l'eau sans la décomposer. Les opinions, à cet égard, sont très-variées, et moi-même j'ai entamé une discussion à ce sujet avec Mr. Martens. J'ai défendu celle qui veut qu'un courant électrique, quelque faible qu'il soit, ne puisse pas traverser l'eau sans la décomposer, et toutes les observations que j'ai pu faire jusqu'à présent n'ont contribué qu'à confirmer cette opinion. Une pile de Daniell ne paraît pas, entre des lames de platine, décomposer l'eau d'une

manière sensible à l'œil ; toutefois son courant, à travers un pareil couple, n'est pas complétement annulé, et il *présente* encore des traces très-appréciables à un galvanomètre sensible, traces pour lesquelles on peut demander si elles traversent simplement ou bien si elles décomposent l'eau. Quant à moi, il ne me paraît pas douteux que, dans le commencement du moins, il doit y avoir décomposition de l'eau ; car si on unit l'*appareil* de communication avec une pile de Daniell et une pile secondaire, on obtient dans le voltamètre de la dernière une *décomposition* proportionnellement très-remarquable d'eau, et qui s'élève à 1,5 centim. cube en cinq minutes. Cette décomposition de l'eau ne peut évidemment provenir que de ce que la pile de Daniell dégage préalablement les éléments de l'eau sur les plaques de la pile secondaire.

La seconde considération qui se rattache au mode décrit de chargement pour les piles secondaires, est la question de savoir si la nature, dans les poissons électriques, ne fait point usage d'un moyen semblable. Le gymnote possède, comme on sait, un organe analogue à la pile de Volta. Ne serait-ce pas seulement une pile secondaire destinée à accroître la force électromotrice d'un courant qui naîtrait d'une source d'électricité d'une tension assez faible, placée dans le cerveau de l'animal? Je me bornerai à poser ces questions, espérant que d'autres seront en mesure de les résoudre.

Mr. Poggendorff, dans des recherches postérieures à celles dont il vient d'être question, indique quelques modifications qu'il a apportées à l'appareil dont il est parlé plus haut. Il ajoute qu'au moyen de son appareil ainsi perfectionné, il a réussi à démontrer que la polarisation dépend de la force et de la durée du courant, de la grandeur des plaques, de la température et de la pression, et enfin de la nature du liquide et du métal qu'on y plonge. Il estime en conséquence que les opinions récentes de MM. Lenz, Wheatstone et Daniell, relative-

ment à l'indépendance de la polarisation de la force du courant, même pour les plaques en platine, sont erronées, et que les recherches de ces physiciens sont assurément bien loin d'avoir résolu et épuisé les problèmes que présentent les phénomènes de polarisation.

Mr. Poggendorff a réussi à polariser un second couple de lames de platine homogènes, au moyen d'un premier couple semblable mais déjà polarisé par le courant d'un couple actif de Grove, puis un troisième au moyen du second, et ainsi de suite jusqu'à un cinquième. Le galvanomètre, mis successivement dans le circuit de chacun de ces couples polarisés les uns par les autres, a indiqué l'existence d'un courant qui, ainsi que cela devait être, était, dans le troisième et le cinquième couple, dirigé dans un sens inverse de celui qu'il avait dans le second et le quatrième. En même temps la force de la polarisation allait en diminuant du premier couple au cinquième, pour lequel elle était insignifiante. Cette rapide diminution était due en partie à la lenteur avec laquelle les opérations successives s'exécutaient, vu qu'on les faisait à la main. L'auteur a imaginé un instrument qu'il a nommé *transporteur* (*übertrager*), et dont il donne la description dans le numéro 2 de 1844 des *Ann. der Physik* (t. LXI, p. 408). Au moyen de cet instrument, il transmet la polarisation qu'une paire de plaques métalliques a reçue d'une pile active à une seconde paire de plaques, de celle-ci à une troisième, et ainsi de suite. Avec cet instrument l'opération devient facile, et peut être poussée jusqu'à un nombre de paires de plaques plus considérable qu'avec la main seule. Cependant il y a aussi une limite, parce que chaque paire communique à celle qui la suit une polarisation plus faible que celle qu'elle possède ; toutefois le nombre de paires jusqu'où peut s'étendre la polarisation dépend de la force du courant primitif et de la sensibilité du galvanomètre qui accuse la polarisation ; la grandeur des plaques exerce aussi quelque influence.

Il ne faut pas faire cheminer l'appareil avec trop de rapidité,

car un certain temps est nécessaire pour que la polarisation se développe. L'auteur termine en remarquant qu'on pouvait annoncer à l'avance tous ces phénomènes, mais qu'il n'était pas superflu de démontrer leur existence par l'expérience. Il observe encore que si dans des cas tels que celui dont il s'agit ici, où les lames de platine plongent dans l'acide sulfurique étendu, la polarisation n'est due qu'au fait de la décomposition de l'eau, il n'en reste pas moins comme une chose curieuse que cette polarisation puisse se transmettre tant de fois et en si peu de temps d'une paire à une autre. On voit, d'après cela, qu'il est possible de construire des piles hydro-électriques de troisième, quatrième, cinquième ordre, de la même manière qu'on en a eu seulement jusqu'ici de second ordre.

Observations du rédacteur.

Le fait qu'on puisse polariser des électrodes avec le courant produit par des plaques elles-mêmes polarisées, était non-seulement probable, comme le remarque Mr. Poggendorff, mais bien connu ; je ne sache pas qu'on eût poussé l'essai jusqu'à une troisième et par conséquent jusqu'à une quatrième ou cinquième paire.

Je dois également remarquer que j'avais démontré [1], il y a déjà plus d'un an, que le courant d'un seul couple de Daniell est capable de décomposer l'eau, et que c'est pour cela qu'il peut polariser les électrodes de platine au moyen desquels il traverse de l'eau acidulée ; c'était en mettant sous le vide le liquide soumis à l'action décomposante du courant que j'étais parvenu à ce résultat.

A. DE LA RIVE.

[1] *Archives de l'Electricité*, t. III, p. 160 (année 1843).

NOUVELLES RECHERCHES RELATIVES AU PRÉTENDU COURANT DE RETOUR OU CONTRE-COURANT DANS LA PILE DE VOLTA, par Mr. Poggendorff. Communiqué à l'Académie des sciences de Berlin, le 7 et le 21 décembre 1843. (*Institut* du 10 avril 1844.)

Dans la séance de l'Académie du 26 mai 1842, j'ai cherché, dit Mr. Poggendorff, à faire voir que le courant de retour que Mr. de la Rive a supposé exister dans la pile de Volta, n'était pas démontré par l'expérience. J'ai cherché à établir ce fait en appliquant à ce courant conjectural le principe connu de la dispersion ou ramification du courant électrique, puis développant, à l'aide de la loi de Ohm, la formule qui exprime l'intensité du courant qu'on observe. Il en est résulté que cette intensité, qui, lorsqu'on n'admet pas de courant de retour, est, comme on sait, exprimée à l'ordinaire par $\frac{k}{r+r'}$ (1), se trouvait exprimée, lorsqu'il y a présence d'un courant de retour, par $\frac{k}{2r+r'}$ (2), k exprimant dans les deux cas la force électromotrice, r la résistance du circuit, et r' celle des autres parties de la pile. J'ai démontré ensuite que lorsqu'on augmente la résistance r' de la pile d'une certaine grandeur ρ, et qu'on diminue d'autant celle des fils de communication, ou réciproquement, quand on diminue la première de ρ et qu'on augmente d'autant la dernière, cette opération, d'après l'opinion reçue et exprimée par la formule (1), n'apporte aucun changement dans la force du courant, tandis qu'avec la formule (2), qui représente l'opinion de Mr. de la Rive, il y a dans le premier cas une augmentation, et dans le second cas

un affaiblissement sensible du courant. J'ai fait remarquer de plus que si, au lieu de transformer r' en $r' \pm \rho$ et r en $r \mp \rho$, on n'ajoutait à r que la moitié de cet accroissement, la force du courant, dans l'hypothèse de Mr. de la Rive, devait rester constante, tandis que dans l'hypothèse ordinaire, quel que fût le signe du changement, il y avait constamment accroissement ou affaiblissement.

Deux séries de mesures prises sur une pile simple de Grove, pour soumettre ces deux opinions à l'expérience, se sont si bien accordées avec les résultats de la première formule ou l'opinion commune, que j'ai cru devoir considérer la doctrine du courant de retour comme sans fondement. Mr. de la Rive a cru, contre cette manifestation, devoir publier dans les *Archives de l'Electricité*, n° 6, une réponse dans laquelle il a cherché à démontrer que la conclusion que j'avais déduite ne prouvait rien contre le courant de retour ou contre-courant, et par conséquent qu'elle ne pouvait l'obliger à modifier son opinion à cet égard. Mr. de la Rive n'a pas répété mes expériences, ni cherché à en faire de nouvelles; il ne met pas en doute leur exactitude, et n'a aucune objection à faire au principe qui leur sert de base; mais il conteste l'application de ce principe au cas que j'ai examiné, et, s'appuyant sur les expériences à l'aide desquelles il a démontré précédemment l'existence du contre-courant, il croit devoir repousser la conclusion que j'ai tirée des miennes.

Comme preuves de la non-application de ce principe à une pile simple, Mr. de la Rive allègue entre autres les deux suivantes :

1° Que, lorsqu'on introduit dans le circuit d'une pile simple deux plaques homogènes intermédiaires, il n'existe presque aucune différence entre les liquides des deux cellules, *et que* la pile n'est plus formée par des métaux hétérogènes qui sont plongés dans un seul et même vase, mais de ceux qui leur sont unis métalliquement.

2° Que dans la pile simple il n'y a presque pas de courant de retour, mais que celui-ci n'a lieu que par la réunion immédiate de deux électricités sur les plaques.

D'abord, relativement à la première observation, je ferai remarquer qu'elle n'est exacte que dans la théorie du contact, mais que, suivant la théorie chimique dont Mr. de la Rive est partisan, la pile proprement dite est constamment considérée comme formée par les métaux qui sont placés dans un seul et même vase, ainsi que l'ont démontré Mr. Faraday et les autres partisans de cette théorie, soit que les métaux se trouvent unis directement entre eux par un fil métallique, soit qu'ils présentent dans le circuit une cellule intermédiaire à plaques homogènes (électrodes de Faraday). J'ajouterai de plus que, lorsqu'il est question d'un couple excitateur, celui-ci, dans l'esprit de la théorie chimique, n'est pas formé des deux plaques métalliques qui sont unies, mais de leurs oxides et du fluide qui les attaque. Il est donc parfaitement démontré, sous le point de vue de la théorie chimique, que les liquides dans les deux cellules d'une pile simple pourvue de plaques intermédiaires ne peuvent être considérés comme électro-identiques, et par conséquent qu'on peut leur appliquer le principe de l'antagonisme.

Quant à la seconde objection de Mr. de la Rive, elle est encore plus facile à écarter, puisqu'on démontre que lorsqu'on a une fois admis l'existence d'un courant de retour, celui-ci existe aussi bien dans une pile simple que pour une pile composée; autrement, on se jette dans des conséquences hypothétiques et en opposition avec les résultats les plus vulgaires de l'expérience. En effet, s'il n'y a pas de courant de retour dans la pile simple, alors la force de son courant sensible est exprimée par $\frac{k}{r+r'}$, tandis que s'il y a courant de retour on a $\frac{k}{2r+r'}$. Maintenant si, avec deux semblables piles on en

forme une, qui dans tous les cas présentera, suivant Mr. de la Rive, un courant de retour, alors on aura pour la force de son courant, d'après les principes bien connus, l'expression

$\frac{2k}{2r+2r'}$, qui est identique avec la première. Par conséquent, si dans la pile composée il existe un courant de retour, et qu'il n'y en ait pas dans la pile simple, on a là ce phénomène paradoxal qu'une pile simple et une autre pile composée de deux semblables piles simples, fermées par un même fil, fournissent un courant de même force, chose dont il est inutile de démontrer la fausseté.

Mr. Poggendorff, tout en persistant en conséquence dans sa première opinion, a cherché toutefois à la mettre à l'abri de nouvelles attaques, par de nouvelles séries d'expériences, où il a fait autant que possible varier successivement toutes les conditions du problème. Nous ne rapporterons pas ces expériences en détail, et nous nous contenterons de dire qu'elles lui paraissent avoir toutes démontré la non-existence du contre-courant admis par Mr. de la Rive. Avant de terminer, l'auteur a cru devoir prendre la défense de la loi de Ohm, qui a servi de base à ses recherches contre les doutes répétés du physicien genevois. Dans cette partie de son travail, Mr. Poggendorff fait voir que ces doutes si souvent exprimés, mais qu'on n'a jamais basés sur des expériences et des mesures, ont pris naissance dans ce fait que Mr. de la Rive n'a jamais distingué, dans l'action de la pile de Volta, ce qu'il y a de normal ou primaire de ce qui est uniquement secondaire. Cette loi importante et si riche en conséquences, de Ohm, qui a donné un caractère nouveau et tout scientifique aux doctrines du galvanisme, n'est applicable dans sa forme la plus simple, et comme toutes les autres lois de la nature, qu'aux phénomènes purement normaux.

Observations du rédacteur.

Le Mémoire de Mr. Poggendorff n'ayant point encore paru dans les *Annalen der Physik*, j'ai été obligé d'emprunter à l'Institut l'extrait qu'on vient d'en lire. Je me bornerai pour le moment à deux remarques.

La première remarque est relative à la persistance avec laquelle Mr. Poggendorff veut obliger les partisans de la théorie chimico-voltaïque à appeler couple ce qu'ils n'ont jamais appelé couple. Ce qui caractérise le couple voltaïque, c'est l'activité que les éléments dont il est formé possèdent pour produire le courant voltaïque ; or le couple est donc, aussi bien dans l'une que dans l'autre théorie, l'ensemble des deux métaux qui sont réunis immédiatement par le conducteur où le courant circule, tel que le fil d'un galvanomètre. Ces deux métaux peuvent plonger dans le même liquide, ou dans deux portions du même liquide, séparées par un diaphragme soit métallique, soit simplement poreux, ou encore dans deux liquides différents séparés de la même manière. Mais dire que, lorsque le liquide dans lequel plongent les deux métaux du couple est divisé en deux compartiments par une lame métallique isolée, c'est cette lame métallique qui forme, avec l'un ou avec l'autre des deux métaux, un nouveau couple, c'est dire une chose contraire à la manière dont on a toujours envisagé la production de l'électricité dans les actions chimiques. En effet, mettons une lame de zinc au milieu du liquide dans lequel plongent la lame de platine et la lame de zinc d'un couple : les électricités développées sur les deux faces de la lame par l'action chimique du liquide sont de même nature, et il y a recomposition immédiate de ces électricités avec celles de nom contraire, dont le liquide qui baigne les faces s'est chargé. Quant à son influence sur le courant du couple, la lame de zinc ne fait que remplacer la tranche de liquide qu'elle a déplacée ; et si son interposition di-

minue un peu l'intensité de ce courant, c'est que les décompositions et recompositions successives qui ont lieu entre les molécules qui séparent l'une des plaques du couple de l'autre, sont un peu génées par la présence du métal ; moins le métal sera oxidable, plus cette géne sera grande, et plus le courant éprouvera de résistance à parcourir son circuit. C'est ce que j'ai fait voir, il y a déjà près de vingt ans (en 1825 pour la première fois), et toutes les fois que je me suis occupé de ce sujet, j'ai toujours considéré les couples comme je viens de le faire, et non comme Mr. Poggendorff voudrait m'obliger à les considérer.

Maintenant, que dans une pile composée de plusieurs couples on regarde comme un couple les deux métaux plongés dans un même liquide, et non les deux métaux soudés ensemble et plongeant dans des vases différents, c'est une conséquence précisément de la manière dont j'envisage un couple unique. En effet, les deux métaux du couple dans le cas d'une pile, au lieu d'être réunis immédiatement par un fil métallique ou par tout autre conducteur, sont réunis par la série des autres couples et par le conducteur qui ferme le circuit de la pile ; voilà toute la différence. Mais si on interpose un diaphragme métallique dans le liquide où plongent les deux métaux de l'un des couples d'une pile, dira-t-on que le couple ancien n'existe plus, et qu'il est remplacé par un couple nouveau formé de ce diaphragme et de l'un des deux métaux du couple primitif? Non assurément ; dans aucune théorie on ne considérera les couples de cette manière. L'interposition des diaphragmes, en diminuant la conductibilité du liquide interposé entre les deux plaques du couple, diminuera l'intensité du courant de toute la pile, car il augmentera la résistance qu'il rencontre dans cette partie du circuit.

Quant à ce que Mr. Poggendorff ajoute que, dans la théorie chimique, le couple n'est pas formé des plaques unies ensemble, mais de leurs oxides et du fluide qui les attaque ; que par con-

séquent les liquides dans les deux cellules d'un simple couple ne sont pas identiques, et qu'on peut leur appliquer le principe de l'antagonisme, j'avoue ne pas l'avoir très-bien compris, ce qui tient probablement à la brièveté de l'extrait dans lequel j'ai lu les recherches du savant allemand; je ne vois pas non plus en quoi cette remarque peut influer sur la solution de la question qui nous divise.

La seconde remarque que j'ai à faire sur le nouveau travail de Mr. Poggendorff, est relative à la distinction que ce savant ne veut pas admettre entre ce qui doit se passer dans un simple couple, et ce qui se passe dans une pile composée de deux ou plusieurs couples. Il est impossible d'assimiler un couple à une pile; en effet dans un couple il n'y a pas de tension, et par conséquent comment serait-il possible qu'il y eût un courant de retour? Lorsque la lame de platine qui constitue le couple n'est pas unie métalliquement au zinc, elle ne reçoit point l'électricité négative que l'action chimique du liquide sur le zinc chasse dans le métal. Pourquoi donc l'électricité positive du liquide qui baigne le zinc, se dirigerait-elle vers le platine qui est dans un état neutre, tandis qu'il est tout naturel qu'elle neutralise l'électricité négative restée dans le zinc? C'est cette neutralisation des deux électricités dégagées par l'action chimique d'un liquide sur une lame métallique, et qui a lieu à la surface de la lame, que j'ai nommée *recomposition immédiate*, et que Mr. Faraday, qui en a admis comme moi l'existence, a nommée *action locale*. C'est le seul genre de courant de retour que j'admette comme possible dans un simple couple.

Quant à l'existence du courant de retour dans une pile composée, et au mode de propagation de ce courant, c'est un point que je ne traiterai point actuellement; il me mènerait trop loin. Je me bornerai à remarquer que Mr. Poggendorff lui-même ne l'a traité qu'indirectement, car il a conclu ce qui doit se passer dans une pile composée quant au courant de retour, de ce qui se passe suivant lui dans un simple couple. Or

comme je crois avoir établi, par ma précédente Notice et par les observations que j'y ajoute aujourd'hui, qu'il n'y a pas de courant de retour dans un couple simple, la conséquence que tire Mr. P. de la supposition qu'il en existe un, n'est pas exacte et ne saurait être admise.

La question du courant de retour dans une pile composée doit être traitée directement, et abstraction faite de ce qui a lieu dans un simple couple. En effet le courant de retour naît, suivant moi, du fait que la pile est composée, et il provient de la tension de ses deux pôles ; il est donc propre à une pile composée, et nullement à un simple couple ; il est la conséquence du principe admis par les physiciens eux-mêmes, savoir que la pile, outre son rôle actif, joue le rôle passif de conducteur de l'électricité ; que dès lors, s'il y a à chacune de ses deux extrémités production constante des deux électricités contraires, il doit y avoir réunion constante également de ces deux électricités à travers cette même pile, en proportion plus ou moins grande, suivant sa conductibilité propre, et suivant celle de la substance qui est interposée entre ses pôles.

A. DE LA RIVE.

SUR LA CONDUCTIBILITÉ DE LA TERRE PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE, par Mr. MATTEUCCI. Extrait d'une lettre à Mr. Arago. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 3 juin 1844.)

Ayant voulu, dans ces derniers temps, répéter les belles expériences de Mr. Wheatstone, qui sont venues confirmer, d'une manière si lumineuse, les découvertes faites en Allemagne par MM. Fechner, Jacobi, Poggendorff, etc., et en France, par Mr. Pouillet, je me suis trouvé dans le cas d'étudier, d'une

manière plus complète qu'on ne l'avait fait, la conductibilité de la terre. Je pouvais disposer, pour ces expériences, d'un fil de cuivre long de 7000 bras toscans (le bras toscan est égal à $0^{m},58$). Ce fil était du n° 8 du commerce, et le poids d'un mètre de longueur était $4^{gr},690$. Le galvanomètre que j'ai employé était le galvanomètre comparable de Mr. Nobili. Je possède celui-là même sur lequel ce physicien a fait son Mémoire. Dans le cours de mes expériences, j'ai eu occasion de vérifier l'exactitude de la Table des intensités données par Mr. Nobili à son galvanomètre. Au lieu d'avoir le fil couvert de soie et d'en faire des bobines, je l'ai étendu dans une longue prairie, en le soutenant élevé au-dessus du sol avec de minces pieux en bois sec, hauts de 2 bras, et sur la surface desquels j'avais fait passer trois couches de vernis. Le pieu était enfoncé dans le sol, de 8 ou 10 centimètres, et le fil était tourné une fois sur le sommet du pieu. L'électromoteur que j'ai employé a été toujours un seul élément de Bunsen, dans lequel je n'avais que de l'eau de pluie en contact avec le charbon et le zinc amalgamé, car j'avais supprimé le cylindre d'argile et empêché le contact entre le zinc et le charbon par le moyen de trois tiges de bois liées autour du zinc. J'ai trouvé que l'isolement de mon fil, avec les pieux que j'ai décrits, était parfait. Lorsque le circuit était composé de 7000 bras, l'intensité du courant était la même, quel que fût le point du circuit dans lequel le galvanomètre était introduit. La pile m'a donné, pendant plusieurs jours, un courant constant; je ne faisais que renouveler l'eau, de temps en temps, et passer un linge sur le zinc. Je rappellerai ici que le galvanomètre comparable de Mr. Nobili est très-peu sensible. J'ai commencé une longue série d'expériences, en ne faisant qu'ajouter au circuit de la pile des longueurs variables de fil de cuivre. J'ai pu ainsi déterminer la longueur *réduite* qui représente la résistance de la pile, et j'ai vérifié, au moins pour toute la longueur de 7000 bras, l'expression de la résistance du circuit additionnel, telle qu'elle est reçue aujour-

d'hui généralement. J'ai pu, de la même manière, vérifier la Table des intensités donnée par Mr. Nobili pour son galvanomètre. — Je vais décrire les expériences que j'ai faites pour étudier la conductibilité de la terre.

J'ai fait plonger dans un puits une grande lame de fer à laquelle était soudé le fil de cuivre. La surface de cette lame, en contact avec l'eau, était à peu près de 3 mètres carrés. Une autre lame semblable était disposée également dans un autre puits. Dans une première expérience, les deux puits étaient à une distance qui pouvait être prise en ligne droite pour 28 bras. J'ai fermé le circuit, d'abord sans introduire la pile et avec le seul galvanomètre. J'ai eu une déviation de 4 ou 5 degrés qui a diminué ensuite sans jamais disparaître entièrement. En soulevant et en replongeant ensuite tantôt l'une, tantôt l'autre des lames, j'ai vu varier le sens de la déviation, et en laissant le circuit fermé, l'aiguille revenait à zéro. Ce sont donc là les phénomènes qu'on obtient en plongeant dans un liquide deux lames du même métal réunies aux extrémités du galvanomètre. J'ai introduit la pile dans le circuit en partant de zéro, et la déviation que j'ai obtenue m'a donné la longueur réduite en fil de cuivre qui représentait la résistance de la portion du circuit composé des lames de fer, de l'eau du puits et de la couche terrestre. J'ai trouvé que cette résistance de la portion de la terre, dont j'ai donné la longueur en ligne droite, de l'eau des puits et des lames, était 809 bras de mon fil. J'ai eu recours à deux puits plus éloignés : leur distance en ligne droite était de 360 bras, et j'ai comparé l'intensité des deux courants lorsque j'avais dans le circuit, dans un cas, 360 bras de fil et la terre entre les deux puits éloignés l'un de l'autre de 28 bras, et dans l'autre, les mêmes 360 bras et la terre entre deux puits éloignés entre eux de 360 bras. J'ai obtenu dans les deux cas exactement le même courant. J'ai ajouté soit dans un cas, soit dans l'autre, des longueurs variables de fil de cuivre, et j'ai trouvé la résistance

due à ce fil telle qu'elle est donnée par la théorie. J'ai choisi encore des puits plus éloignés et j'ai fait la même expérience. Dans ce troisième cas, le circuit se composait de 780 bras de fil et de la terre entre deux puits éloignés en ligne droite de 518 bras. La pile employée dans ce cas donnait d'une manière constante, sans circuit additionnel, 26 degrés. Dans une quatrième expérience, j'avais 1120 bras de fil, et la terre entre les deux puits d'une des expériences précédentes, éloignés entre eux de 360 bras. J'ai obtenu dans le premier cas 17°,5, et dans le second 16°,7; dans la première expérience, j'avais plus de terre et moins de fil dans le circuit; dans la seconde, c'était l'inverse. J'ai confirmé ces résultats deux fois, et je n'ai eu à me reprocher aucune erreur dans l'expérience. Evidemment il en résulte qu'une couche de terre plus ou moins longue présente la même résistance, que cette résistance de la terre se trouve à la première introduction du courant dans la terre, et qu'en opérant à des distances plus grandes et telles que la résistance du fil de cuivre ajouté suffise à diminuer la force du courant plus encore que ne l'avait fait la première introduction du courant dans la terre à une distance très-petite, cette résistance de la terre disparaît. Ces premières expériences m'ont engagé à opérer plus en grand, et je me suis rendu pour cela sur la grande route qui traverse par une longueur de 4 $^3/_4$ milles le parc du Grand-Duc, tout près de Pise, et qui aboutit à la mer. J'ai opéré également en plongeant les lames dans les puits : je dirai seulement que, dans une première expérience faite entre deux puits éloignés entre eux de 4885 bras et avec une longueur égale de fil de cuivre, j'avais trouvé que l'isolement du fil n'était pas parfait, n'ayant pas employé les pieux que j'ai décrits. Au lieu de cela, j'avais fixé le fil autour de clous placés de distance en distance sur les arbres de la grande route. Je voyais alors que, quand même la lame de la station opposée à celle où était la pile n'était pas dans le puits, j'avais une déviation, petite pourtant, au galvanomètre. Mais quand

j'ai employé les pieux vernis, l'isolement du fil a été parfait; l'aiguille revenait parfaitement à zéro lorsque le circuit était interrompu à la station éloignée. De même j'ai vu, avec deux galvanomètres aux deux stations extrêmes, que la déviation était la même soit tout près de la pile, soit à 4885 bras de la pile. Il faut dire que le circuit n'est pas complétement interrompu, si l'on se borne à tirer la lame du puits et à la jeter par terre étant toujours soudée au fil de cuivre. Voici les nombres trouvés dans une des quatre expériences que j'ai faites. L'élément de Bunsen, avec le seul fil de galvanomètre, qui est long de 10 bras, donnait un courant constant de 17 degrés, égal en intensité à 36,78. Lorsque le circuit était composé de 4885 bras sans terre, j'avais 6°,5 qui est justement le nombre donné par la théorie, et qui correspond à 7,5 d'intensité. J'ai fermé le circuit avec la même longueur de fil et la terre, à l'aide de lames plongées dans les deux puits.

L'aiguille partait exactement de zéro, et j'avais à mon galvanomètre un courant constant de 8 degrés. Le galvanomètre qui était à l'autre station indiquait exactement la même déviation. Les observateurs qui étaient placés aux deux stations extrêmes interrompaient et rétablissaient le circuit à des instants déterminés. Lorsque le circuit était interrompu, l'aiguille revenait à zéro. Je saisis cette occasion pour faire mes remercîments à mes collègues et amis, MM. Pacinotti, Ridolfi, Sbragia, Cima, Ruschi, qui ont bien voulu m'aider dans ces expériences. Dans une seconde expérience, j'ai obtenu exactement les mêmes résultats, qui peuvent se résumer de la manière suivante : quand on fait circuler un courant dans un fil de cuivre long de 4885 bras, et à travers une couche de terre de la même longueur, la diminution qui a lieu dans l'intensité du courant est telle, que non-seulement il faut regarder comme nulle la résistance de la couche terrestre, mais encore il faut regarder la résistance du fil de cuivre qui entre dans le circuit mixte, comme moindre que celle qui est présentée par ce même fil

lorsqu'il entre seul dans le circuit. Ce fait est singulier. Voici les efforts que j'ai faits pour me l'expliquer : je doutais d'abord qu'il y eût un courant avec les seules lames plongées dans les puits, quoique très-éloignés, sans la pile ; j'ai donc fait l'expérience en fermant le circuit avec la terre et le fil sans pile. Mon galvanomètre me donnait une déviation qui ne dépassait pas 1 degré, et qui ne tardait pas à disparaître, en tenant le circuit fermé.

Je ne pouvais donc m'expliquer la différence trouvée avec un courant dû aux seules lames. La grande route le long de laquelle le fil était étendu est justement dirigée de l'est à l'ouest : dans la première expérience, le courant de la pile allait, dans le fil, de l'est à l'ouest. Nous pensâmes alors que le fait pouvait être expliqué en ayant recours à un courant dérivé des courants terrestres d'Ampère. L'idée était on ne peut plus attrayante. On renversa la direction du courant de la pile ; on devait s'attendre à une diminution du courant, mais il fut constant et de 8 degrés. Malgré cela, je fis vite étendre le fil le long de la côte, dans une position perpendiculaire à celle de la grande route. Le circuit était le même, c'est-à-dire qu'il se composait de 4885 de fil et d'une couche de terre et d'eau à peu près de la longueur du fil. Une des lames était restée dans le puits, l'autre était plongée dans la mer. Dans une deuxième expérience que je fis immédiatement après, les deux lames étaient toutes les deux plongées dans la mer. Dans les deux cas, j'ai toujours obtenu 8 degrés. Le courant de la pile n'avait jamais changé d'intensité : je ne pouvais donc recourir aux courants dérivés des courants terrestres pour expliquer le fait. Ayant égard à la nature du sol de Pise, qui est en grande partie formé d'un terrain d'alluvion très-récemment déposé, et dans lequel on trouve l'eau à quelques bras sous terre, j'ai voulu faire une expérience dans un sol différent. Je me suis rendu pour cela sur les collines de Crespina, qui sont à 16 milles de Pise. Dans les puits que j'ai employés, l'eau était de 30 à 40

bras au-dessous du sol. J'ai opéré en deux stations différentes, en tenant toujours la même longueur de fil étendue, qui a été, dans ce cas, de 4260 bras. La distance entre les deux puits, dans la première expérience, était de 3500 bras. Dans la seconde expérience, la distance entre les deux puits était de 1 mille, c'est-à-dire de 2800 bras. Le courant de la pile, sans circuit additionnel, était toujours de 17 degrés. Dans la première expérience, le circuit se composait de 2470 bras de fil et de la terre entre les deux puits éloignés de 3500 bras. Dans la seconde expérience, le circuit se composait du même fil et de 2800 bras de terre. J'ai obtenu, dans les deux cas, la même déviation, qui a été de 8°,5. Les expériences ont été faites avec les mêmes soins, et ont confirmé les faits observés en opérant sur le sol de Pise. J'ajouterai qu'en opérant avec une seule des lames dans le puits, et avec l'autre soudée au fil et couchée sur la terre, j'ai obtenu, dans les mêmes circonstances, tantôt 3, tantôt 4, tantôt 5 degrés, suivant que la lame était posée sur le sable, sur le sable humide, sur le gazon. Au lieu de la pile et des lames de fer, j'ai attaché au bout du fil, d'une part, une lame de zinc ; de l'autre, une lame de cuivre. Chacune de ces lames avait un demi-mètre carré de surface. Lorsque le fil était long de 4885 bras, j'avais un courant constant de 4 degrés.

J'avoue que j'aurais désiré pouvoir opérer sur des longueurs plus grandes, et c'est dans ce but que j'envoie ce Mémoire au président du prochain congrès de Milan, pour l'engager à faire tenter ces expériences sur une vaste échelle, avec une partie des fonds que la ville de Milan a disposés pour des expériences. Ce qui résulte évidemment des essais que j'ai rapportés, me conduit à conclure que la résistance de la terre pour le courant électrique est nulle dans de grandes étendues. Mr. Bain, en Angleterre, et surtout Mr. Jacobi, à Saint-Pétersbourg, avaient déjà trouvé que cette résistance du sol pouvait être considérée comme n'exerçant pas d'influence. Mais je crois que

mes expériences ont prouvé ce résultat d'une manière plus directe et plus précise. Je dois conclure encore que, lorsqu'un courant est transmis par un circuit composé en partie d'un long fil de cuivre et d'une longue couche de terre, la diminution soufferte par ce courant, par la résistance de ce circuit mixte, est moindre que celle qu'elle aurait soufferte par la résistance du seul fil de cuivre. Cette conclusion, qui devrait être démontrée en opérant sur une plus grande échelle, est encore à expliquer. Je finirai en disant que mes résultats pourront conduire à une application que je crois importante pour la télégraphie. Quel que soit le fil et son isolement, on pourra toujours employer la terre pour former la moitié du circuit, et de cette manière, toutes les dépenses et les difficultés seront réduites de moitié.

RECHERCHES SUR L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE ÉMISE PAR LE CHARBON DANS L'EXPÉRIENCE DE DAVY, par MM. H. FIZEAU et L. FOUCAULT. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 22 avril 1844.)

On sait avec quelle facilité l'on peut répéter aujourd'hui l'expérience de l'incandescence du charbon par la pile, au moyen du puissant instrument que Mr. Bunsen a mis récemment entre les mains des physiciens ; dès lors il nous a semblé possible de tenter quelques expériences dans le but de comparer cette source lumineuse aux autres sources les plus remarquables par leur intensité. Nous avons choisi pour cette comparaison la lumière solaire et la lumière produite par la chaux placée dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.

Notre but n'étant pas de comparer entre elles les quantités de lumière versées par ces différentes sources, mais de comparer

leurs intensités mêmes, le choix du procédé photométrique devenait difficile ; nous avons donc pensé à avoir recours aux propriétés chimiques de la lumière. Cette application des procédés photographiques, indiquée il y a plusieurs années par Mr. Arago, n'a pas encore été tentée, ce qui nous oblige à exposer en quelques mots les principes sur lesquels nous nous sommes appuyés.

Il est certain, d'après ce que l'on sait aujourd'hui sur les propriétés chimiques de la lumière, que l'on ne peut pas confondre en général l'intensité *chimique* des radiations avec leur intensité *optique ;* de sorte que l'on peut concevoir deux faisceaux lumineux tels que, le premier possédant une intensité optique supérieure à celle du second, le second, au contraire, l'emporte sur le premier en intensité chimique.

Il suit de là qu'un procédé photométrique fondé sur les propriétés chimiques de la lumière ne doit être considéré que comme donnant la mesure de l'intensité chimique des sources lumineuses. C'est donc dans ce sens qu'il convient d'interpréter ce que nous allons dire sur les moyens de comparer les intensités de deux sources lumineuses, par leurs effets sur les substances impressionnables.

Si l'on expose une couche sensible à l'influence de l'image formée par un objet lumineux au foyer d'une lentille, le degré d'altération qu'elle subit dépend du temps d'exposition et de l'intensité de l'image focale.

Si dans deux expériences ce temps et cette intensité focale restent constants, le degré d'altération sera le même ; si, le temps étant le même, on obtient le même degré d'altération, on en pourra conclure que l'intensité focale est la même. Or cette intensité i de l'image focale est liée à l'intensité I de l'objet lumineux, au rayon d'ouverture de la lentille r, et à la distance focale d par la relation

$$(1) \qquad i = \frac{Ir^2}{d^2} = I \operatorname{tang}^2 \alpha,$$

2α étant l'angle sous lequel on verrait l'ouverture en se plaçant au foyer.

Par conséquent, si *dans un même temps on obtient le même degré d'altération* dans deux mêmes couches sensibles placées aux foyers de deux lentilles, pour lesquelles les angles α et α' seront différents et que l'on aura dirigées vers deux objets lumineux d'intensités I et I', on en pourra conclure l'égalité des intensités focales $i = i'$, ou bien par suite de la relation (1),

$$I \operatorname{tang}^2 \alpha = I' \operatorname{tang}^2 \alpha',$$

d'où l'on tire

$$\frac{I}{I'} = \frac{\operatorname{tang}^2 \alpha'}{\operatorname{tang}^2 \alpha} ;$$

or, ces tangentes étant données par la mesure directe des ouvertures et des distances focales des deux lentilles, on aura donc le rapport entre les intensités des deux sources lumineuses.

Dans ces sortes d'expériences il est quelquefois difficile de disposer les ouvertures et les distances focales de manière à obtenir un même degré d'altération dans le même temps ; il était donc important de pouvoir arriver au rapport $I : I'$ en obtenant un même degré d'altération dans des temps différents.

Pour cela il suffirait d'admettre, ce qui d'abord semble probable, qu'il y a égalité d'action chimique lorsque les temps sont en raison inverse des intensités. Il fallait rechercher jusqu'à quel point ce principe était vrai ; c'est ce que nous avons fait dans les expériences suivantes.

Nous avons dirigé une chambre obscure sur une lampe à lumière bien fixe, puis, en faisant varier l'intensité focale avec des diaphragmes variables, nous avons obtenu sur une couche sensible une série d'images de la lampe ; la durée de l'impression pour chaque image était en raison inverse de l'intensité focale.

Nous avons trouvé que les images successives ainsi obtenues sont sensiblement égales tant que les temps et les intensités varient entre les limites 1 et 10, c'est-à-dire tant que les rapports $\frac{i}{i'} = \frac{t'}{t}$ n'atteignent pas une valeur plus grande que 10. Si l'on continue à faire varier l'intensité et le temps au delà de cette limite, on s'aperçoit bientôt que les images ne sont plus égales ; pour les valeurs $t' = 60\,t$ et $i' = \frac{i}{60}$, l'image obtenue avec l'intensité i' et le temps t' est incontestablement plus faible que celle qui a été produite par l'intensité i et le temps t.

Il n'est donc pas rigoureusement exact de dire qu'il y a égalité d'action chimique lorsque les temps varient en raison inverse des intensités ; mais nos expériences nous ont montré que l'on pouvait, sans erreur sensible, admettre ce principe entre des limites de temps telles que l'on ait $t' < 10\,t$.

C'est-à-dire qu'entre ces limites, si l'on a $\frac{i}{i'} = \frac{t'}{t}$, on aura égalité d'action chimique.

Réciproquement, si l'on a égalité d'action chimique dans des temps t' et t renfermés entre ces limites, on en pourra conclure le rapport entre les intensités focales i' et i,

$$\frac{i}{i'} = \frac{t'}{t},$$

ou bien, d'après la relation $i = I \operatorname{tang}^2 \alpha$,

$$(2) \qquad \frac{I \operatorname{tang}^2 \alpha}{I' \operatorname{tang}^2 \alpha'} = \frac{t'}{t}, \quad \text{d'où} \quad \frac{I}{I'} = \frac{t' \operatorname{tang}^2 \alpha'}{t \operatorname{tang}^2 \alpha},$$

ce qui permet d'obtenir le rapport entre les intensités de deux sources lumineuses dans le cas plus général où, les temps d'expositions, les ouvertures et les foyers des lentilles étant diffé-

rents, on a obtenu un même degré d'altération dans deux mêmes couches sensibles.

Il s'agit donc, en dernière analyse, de déterminer, dans la série des altérations qu'éprouvent les couches sensibles, un point fixe qui permette de reconnaître qu'elles ont subi un même degré d'altération.

La couche sensible qui nous a paru le mieux se prêter à cette détermination, en raison de sa préparation assez facilement constante, est la couche d'iodure d'argent de Mr. Daguerre; et le point fixe que nous avons adopté est le degré d'altération auquel la couche sensible commence à condenser la vapeur du mercure : c'est le point auquel commence à naître l'image photographique.

Cette couche d'iodure d'argent, quoique peu impressionnable en comparaison des couches sensibles employées aujourd'hui, nous a présenté de graves difficultés, par la rapidité avec laquelle elle s'est impressionnée sous l'influence des radiations très-intenses que nous voulions étudier. On comprendra cependant que nous ayons rejeté l'emploi de papiers sensibles, moins impressionnables il est vrai, mais aussi d'une préparation difficilement constante, et surtout ne présentant pas dans la série de leurs altérations un point fixe aussi facile à reconnaître que celui que nous venons de signaler dans la couche d'iodure d'argent. Cependant nous devons dire que cette dernière couche sensible elle-même doit être préparée, pour des expériences comparatives, par des moyens absolument identiques et par la même personne, des différences en apparence insignifiantes dans son mode de préparation pouvant faire varier sa sensibilité d'une manière très-notable.

Les expériences étaient faites de la manière suivante :

Une chambre obscure était dirigée vers la source lumineuse, le corps lumineux formait ainsi son image au foyer de la lentille : cette image ayant de petites dimensions dans nos expé-

riences, on pouvait, en déplaçant un peu l'axe de l'instrument, la déplacer elle-même dans le plan focal.

La lentille étant couverte par un écran, on plaçait la plaque sensible dans le plan focal, on soulevait alors l'écran pendant un temps compté avec soin, puis, ayant déplacé un peu l'axe de l'instrument, on soulevait de nouveau l'écran, pendant un temps un peu différent, et ainsi de suite on obtenait cinq ou six impressions successives correspondant à des temps différents.

La plaque étant alors soumise aux vapeurs du mercure, on voyait naître une série d'images décroissantes correspondant aux différents temps de l'impression ; si l'expérience avait réussi, la série était incomplète, l'altération de la couche sensible, pendant les temps les plus courts, n'ayant pas été suffisante pour la rendre apte à agir sur la vapeur de mercure. On notait le temps correspondant à la première image, c'est-à-dire à l'image naissante, puis on mesurait l'ouverture de la lentille et sa distance focale.

En opérant de la même manière sur une autre source lumineuse, on avait de même le temps correspondant à l'image naissante, l'ouverture de la lentille et la distance focale.

De ces quantités on déduit, par la relation (2), le rapport $I : I'$. Nous avons ainsi opéré : 1° sur le soleil ; 2° sur les charbons incandescents d'une pile ; 3° sur un fragment de chaux dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.

1° Pour le soleil, nous avons fait usage d'une chambre obscure, munie d'une lentille achromatique de $1^{m},413$ de foyer ; l'ouverture était limitée par des diaphragmes compris entre $1^{mm},3$ et 3 millimètres.

2° Pour les charbons de la pile et la chaux du chalumeau à gaz, nous avons fait usage de lentilles d'un foyer principal plus court ; plaçant alors la lentille à une distance de la source lumineuse égale au double de la distance focale principale, nous pouvions opérer sur une image dont les dimensions étaient

celles du corps lumineux lui-même. Le peu d'étendue de ces sources lumineuses rendait nécessaire une telle disposition. La distance focale déterminée par cette position de l'objet était de $0^m,56$ dans nos premières expériences, et fut portée, dans les suivantes, à $1^m,125$. L'ouverture du diaphragme varia entre 17 et 3 millimètres.

Dans toutes nos expériences les temps correspondants à la naissance de l'image furent compris entre 3 secondes et $^3/_5$ de seconde ; on comptait les quarts ou les cinquièmes de seconde.

Lumière solaire. — Les expériences relatives à la lumière solaire ont été faites dans les mois d'août et septembre derniers, et répétées dans les premiers jours d'avril courant.

Il fallait opérer par un temps très-pur et à des heures voisines de midi, conditions auxquelles il a été rare de pouvoir satisfaire simultanément.

Deux séries ont réussi : l'une, le 2 avril à $11^h 15^m$, par un temps d'une pureté remarquable, nous a donné la plus grande intensité ; nous la représentons par. 1000

L'expérience, répétée le même jour à midi 40 minutes, a donné le même nombre 1000

L'autre, le 20 septembre à 2 heures, par un ciel d'un bleu pâle, a donné une intensité plus faible 751

Il sera intéressant de répéter comparativement ces expériences vers le solstice d'été, ainsi qu'à des heures variables de la journée ; c'est ce que nous nous proposons de faire.

Lumière de la pile. — Pour la lumière des charbons de la pile nous avons fait nos premiers essais en plaçant les charbons dans le vide ; mais nous avons été obligés de renoncer à ce moyen, par la rapidité avec laquelle les parois intérieures du globe de verre se ternissent. Dans un gaz non combustible le même effet se fût produit : il fallait donc opérer à l'air libre et cependant éviter la combustion rapide que les charbons ordinairement employés subissent dans ce cas. L'un de nous, Mr. Foucault, a atteint ce but par l'emploi du charbon prove-

nant de la distillation de la houille ; ce charbon permet d'obtenir à l'air libre une lumière fixe et surtout durable, à cause de la lenteur de sa combustion ; toutes nos expériences ont été faites avec ce charbon.

Dès nos premiers essais nous avons remarqué une différence notable dans la distribution des surfaces lumineuses sur les deux pôles de la pile, le pôle positif l'emportant de beaucoup en surface lumineuse et même en intensité sur le pôle négatif.

Le premier présente une surface circulaire de 2 ou 3 millimètres de diamètre, douée d'un éclat à peu près uniforme : en dehors de cet espace l'intensité décroît rapidement ; le second ne présente qu'une surface plus petite et qui nous a paru moins brillante. L'arc lumineux qui les unit émet une lumière d'un bleu pourpré et d'une intensité optique évidemment inférieure à celle des deux pôles.

Le pôle positif se prêtait donc le mieux à nos expériences ; c'est sur lui que nous avons opéré.

La pile était, comme nous l'avons dit, une pile de Bunsen dont les dimensions étaient telles que les cylindres de charbon d'un diamètre intérieur de 5^{cent},5 plongeaient dans l'acide de 9 centimètres ; l'acide nitrique employé marquait 20 degrés à l'aréomètre, et l'acide sulfurique 15 degrés.

Dans ces conditions, nous avons obtenu les nombres suivants :

46 couples ont donné pour intensité. .	235 ;
80 couples ont donné	238.

Si l'intensité ne varie pas d'une manière notable avec le nombre des couples, elle s'accroît beaucoup avec leur surface, comme on pouvait le prévoir.

46 couples simples ayant donné.	235,
Trois séries semblables réunies pôle à pôle, ou 46 couples à grandes surfaces, la pile fonctionnant depuis une heure, ont donné	385.

Ce qui nous a empêché de varier ces expériences autant que

nous l'aurions désiré, c'est l'affaiblissement assez rapide qu'éprouve la pile lorsqu'elle est montée depuis quelque temps, lors même que le circuit n'est pas fermé.

Ainsi,

80 couples ayant donné pour intensité.	238,
Les mêmes 80 couples, trois heures après, ont donné.	159;
46 couples ayant donné	235,
40 couples une autre fois, la pile étant montée depuis deux heures, ont donné.	136,
Deux séries semblables pôle à pôle, ou 40 couples doubles, dans les mêmes circonstances	238.

L'augmentation d'intensité avec la surface est ici remarquable.

La moyenne des deux premiers nombres 235 et 238 doit être regardée comme l'expression de l'intensité produite par une série de couples de Bunsen de la dimension indiquée en nombres compris entre 46 et 80, et dans les premiers temps de leur action ; il faut ajouter la condition que le circuit sera fermé par le charbon très-dense que nous avons employé ; car il nous a paru que les charbons d'une densité moindre produisaient une intensité moindre aussi.

Cette intensité peut être prise pour unité et comparée alors à l'intensité solaire du 2 avril ; on a le rapport 1 : 4,23 ; la plus grande intensité 385 produite par 46 couples à grande surface, comparée de la même manière, donnerait le rapport 1 : 2,59 ; mais le nombre 385 est certainement trop faible, car il a été obtenu lorsque la pile fonctionnait depuis une heure, et dès lors avait dû s'affaiblir. Nous pensons rester au-dessous de la correction à faire en donnant le rapport 1 : 2,5.

Lumière produite par le gaz oxygène et hydrogène projeté sur de la chaux. — Nous avons trouvé pour son intensité un nombre d'une faiblesse inattendue ; en effet,

L'intensité solaire, le 2 avril, étant	1000,
L'intensité de la lumière du chalumeau à gaz a été trouvée.	6,85.

Ce nombre est le plus grand que nous ayons pu obtenir en augmentant la pression sous laquelle s'échappait le gaz autant que le permettait l'appareil dont nous disposions ; cette pression était produite par un poids de 20 kilogrammes sur une surface de 430 centimètres.

Quand on diminue la pression ou que l'on retarde par quelque obstacle la vitesse d'écoulement du gaz, l'intensité décroît rapidement ; en effet, nous avons substitué un orifice plus étroit, et l'intensité trouvée dans ce cas n'a plus été que 3,4.

Au lieu de diminuer l'orifice du chalumeau, nous avons réduit le poids à 8 kilogrammes ; l'intensité est descendue à 0,86.

Avec le même orifice et le même poids, l'addition d'un tube de sûreté en plomb, qui permettait de placer le réservoir du gaz dans une pièce voisine, a réduit l'intensité à 0,54.

En prenant pour unité l'intensité maximum 6,85 et la comparant à celle de la lumière solaire et de la lumière de la pile, on trouve

Avec l'intensité solaire, le rapport.	1 : 146 ;
Pour 46 couples à grande surface. .	1 : 56 ;
Pour 46 couples ordinaires . . .	1 : 34,3.

Le procédé photométrique sur lequel reposent ces déterminations d'intensité donne en réalité la mesure des intensités chimiques des sources lumineuses, comme nous l'avons dit ; or, la faible intensité trouvée pour la lumière produite par le gaz pouvait être expliquée en admettant que les intensités chimiques seraient très-différentes des intensités optiques dans les sources lumineuses que nous comparions ; nous avons donc été conduits à tenter la mesure des intensités optiques par la voie ordinaire des comparaisons simultanées.

Des difficultés de mise en expérience nous ont empêchés de donner à cette partie de notre travail l'étendue qu'elle méritait ; cependant nous avons obtenu, dans la comparaison optique de la lumière produite par le gaz avec celle des charbons de la pile, des résultats assez nets.

Sans décrire en détail la disposition photométrique que nous avons adoptée, nous dirons qu'au moyen d'une lentille, les images des deux sources lumineuses venaient se former l'une à côté de l'autre sur un écran translucide, avec des dimensions égales à celles des objets lumineux ; chacun des faisceaux lumineux qui formait chacune des images était limité par un diaphragme ; l'ouverture de l'un de ces diaphragmes pouvait varier par degrés insensibles, de manière à permettre d'amener les deux images à la même intensité. Cette égalité étant obtenue, le rapport inverse des surfaces des diaphragmes donnait le rapport entre les intensités lumineuses.

Les deux surfaces lumineuses avaient, dans nos expériences, des dimensions sensiblement égales.

Les intensités optiques de la lumière émise par le chalumeau à gaz, comparée à la lumière produite par 46 couples, ont été trouvées, par cette méthode, dans les rapports suivants :

	1 : 26,5
	1 : 33,6
	1 : 37,7
Les intensités chimiques avaient été trouvées.	1 : 34,3

Bien que ces nombres soient assez différents, nous pensons que l'on peut en conclure que ces deux sources lumineuses possèdent des intensités optiques et des intensités chimiques qui sont sensiblement dans le même rapport.

Si l'on considère la grande différence d'intensité qui existe entre ces deux sources de radiations, et surtout la nature très-différente des causes physiques qui leur ont donné naissance, on est conduit à généraliser ce résultat et à regarder comme très-probable que les radiations lumineuses émanées de sources différentes, mais qui produisent de la lumière blanche, possèdent des intensités optiques et des intensités chimiques qui sont dans le même rapport.

Si l'on admet ce principe, les mesures d'intensité chimique que nous avons données dans ce travail, et qui se rapportent à

la lumière solaire, à celle des charbons de la pile, et à celle du gaz oxygène et hydrogène projeté sur de la chaux, seraient également les mesures des intensités optiques de ces sources lumineuses.

Après avoir rendu un compte verbal de ce Mémoire, Mr. Arago a rappelé les expériences, déjà très-anciennes, à l'aide desquelles il compara, par des moyens photométriques directs, la lumière du soleil et celle des charbons de la pile.

Addition aux recherches qui précèdent. (Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, du 6 mai 1844.)

Nous avons observé, dans le cours de ce travail, quelques faits intéressants que nous allons rapporter.

1° *Images solaires.* — Le diamètre de l'image solaire avec la distance focale dont nous disposions ($1^m,413$) avait seulement 13 millimètres de diamètre, et cependant, vers la fin d'août, nous avons eu, d'une manière très-distincte, l'image d'une tache assez grande qui traversait, à cette époque, le disque solaire. Nous ne doutons pas qu'à l'aide d'appareils optiques convenables, on n'obtienne ainsi des dessins précieux de certaines taches remarquables par leur forme et leur étendue.

Un autre fait s'est constamment présenté à nous, c'est un faible décroissement dans l'intensité des images du centre à la

[1] Les expériences auxquelles Mr. Arago fait allusion furent faites à Genève en 1820, dans le laboratoire de Mr. le professeur de la Rive père, avec une forte pile de 400 couples, que ce savant venait de faire construire sur le modèle de celle que Davy avait établie à l'Institution royale de Londres. (R.)

circonférence, mais surtout près des bords. Ce fait touchant à l'importante question des intensités relatives des bords et du centre du Soleil, nous nous proposons de répéter nos expériences à ce point de vue : nous comprenons en effet que cette simple remarque, faite incidemment dans nos recherches, n'a pas une valeur proportionnée à l'importance de la question.

2° *Arcs lumineux de la pile.* — La lumière d'un bleu pourpré qui se produit entre les charbons, possède une intensité chimique égale à un tiers environ de celle que possède la lumière émise par le pôle positif.

La formation de l'arc lumineux entre quelques métaux nous a présenté les résultats suivants avec 80 couples :

Tous les métaux que nous avons employés comme pôles, ont produit des arcs de couleurs et d'intensités variables : le *platine forgé* comme les autres métaux ; nous devons dire que Mr. de la Rive a observé le contraire avec ce corps.

Des particularités intéressantes se présentent lorsqu'un des pôles est terminé par du charbon, et l'autre par un métal. Le pôle positif étant de l'argent et le négatif du charbon, l'arc se forme facilement ; bientôt l'argent fond et distille abondamment ; dès lors on peut éloigner davantage le charbon négatif sans rompre l'arc lumineux, qui est d'une fixité et d'une beauté remarquables. Si l'on intervertit les pôles, le phénomène n'est plus le même. Dans les premiers instants l'arc se forme, comme précédemment, du charbon positif à l'argent négatif ; mais lorsque l'argent est entré en fusion, l'arc se brise. Si l'on cherche à le rétablir, on éprouve beaucoup de difficultés ; lorsqu'on y parvient pendant quelques instants, la partie de l'arc qui touche au globule d'argent s'agite avec un bruit particulier.

Le platine et le charbon présentent un phénomène analogue, mais à un degré beaucoup moins marqué.

Ce fait nous semble devoir être rattaché aux phénomènes de transport du pôle + au pôle —, étudiés avec tant de soin

par Mr. de la Rive. Pour l'argent qui, comme l'on sait, absorbe de l'oxigène lorsqu'il est en fusion, la rupture de l'arc pourrait être attribuée à la combustion du charbon transporté au contact même de l'argent; la crépitation singulière dont nous avons parlé appuierait cette manière de voir.

3° L'explication que donna Davy de la nature des flammes éclairantes nous a conduits à essayer de fermer le circuit d'une pile de 40 couples par la flamme d'une bougie; on observe alors les faits suivants: un faible courant s'établit, *mais sans* lumière, et l'on voit peu à peu le pôle négatif se couvrir d'un charbon très-léger, qui se dépose sous forme d'arborisations.

Avec une pile de 80 couples le charbon se dépose de plus sur le pôle positif avec les mêmes apparences, mais en moindre quantité que sur le pôle négatif.

4° Un phénomène particulier de lumière se présente lorsque l'on décompose l'eau avec des fils métalliques assez fins et une pile de 80 couples; les fils s'échauffent sans rougir, s'ils sont d'un diamètre suffisant, mais les gaz qui les enveloppent sont alors lumineux, leur dégagement étant accompagné d'un bruit particulier. Le phénomène est le plus marqué au pôle négatif: on remarque que tant que les gaz sont ainsi lumineux, l'intensité du courant est beaucoup diminuée. Ce fait doit-il être rattaché aux phénomènes des arcs lumineux? aurait-on ainsi, au pôle négatif, un arc formé par l'hydrogène?

5° Nous terminerons en appelant l'attention sur une modification remarquable éprouvée par le charbon lorsqu'il a supporté la très-haute température qui se développe pendant l'incandescence des pôles de la pile.

Le charbon très-dense qui provient de la distillation de la houille, et que nous avons employé, a des caractères physiques qui le rapprochent de l'espèce minérale appelée *anthracite*; en examinant, après les expériences d'incandescence, le charbon transporté au pôle négatif et l'extrémité du pôle positif,

lui-même, nous avons remarqué que ses caractères physiques sont alors changés.

Ce charbon est mou, traçant; sa surface, étant frottée, devient d'un gris plombé métallique. Ces caractères l'assimilent complétement à l'espèce minérale appelée *graphite*; cette modification se fait très-rapidement, et s'obtient également avec d'autres espèces de charbons conducteurs. Il suffit de promener l'arc lumineux sur la surface d'un des pôles de charbon pour que cette surface soit à l'instant revêtue d'une couche de graphite.

Cette formation de graphite, sous l'influence d'une température très-élevée, nous semble devoir jouer un rôle important dans l'étude des masses minérales où se rencontre si fréquemment cette variété de charbon.

EXPÉRIENCES FAITES SUR LE COURANT D'UNE BATTERIE DE GROVE DE CENT COUPLES CIRCULANT A TRAVERS UN FIL ISOLÉ DE CENT SOIXANTE MILLES DE LONGUEUR, par Mr. S.-F.-B. MORSE. (*Institut* du 1er mai 1844, et *American Journal* d'octobre 1843.)

J'ai complété le 8 août dernier, dit l'auteur, les préparatifs relatifs au fil de cuivre de cent soixante milles de longueur destiné au télégraphe électro-magnétique dont j'ai entrepris la construction pour le gouvernement américain, et j'ai invité plusieurs savants à être témoins de quelques expériences propres à vérifier la loi de Mr. Lenz sur l'action de l'électricité galvanique à travers des fils d'une grande longueur. J'ai mis en action une batterie à couples de cent paires, que j'avais construite d'après l'excellente méthode de Mr. Grove, mais avec quelques modifications pour économiser le platine. Le fil était enroulé sur quatre-vingts dévidoirs sur chacun desquels il y en avait une longueur de deux milles, de façon qu'on pouvait donner à volonté au circuit une longueur depuis deux jusqu'à cent soixante milles.

Mon premier essai avec la batterie a été de faire passer le courant dans toute la longueur de cent soixante milles pour établir un circuit de quatre-vingts milles, et le magnétisme d'induction dans mon aimant électrique qui faisait partie du circuit a été suffisant pour mouvoir avec une grande force mon levier télégraphique. Quarante couples ont même suffi pour produire une action dans ce levier, mais non plus aussi vivement et d'une manière aussi certaine.

Nous avons alors commencé une série d'expériences sur la

décomposition à des distances variables. La batterie seule (de cent paires) donnait dans la jauge en une minute 5,20 pouces cubes de gaz. Lorsqu'on a interposé un fil de quatre milles de développement, le résultat a été 1,20 pouce, avec dix milles de fil 0,57 pouce, avec trente milles 0,30 pouce, et avec cinquante milles 0,094 pouce.

Tableau dressé d'après la courbe.	Pouces.
La batterie seule	5,20
Un mille	3,85
Deux milles	2,62
Trois milles	1,84
Quatre milles	1,20
Cinq milles	1,05
Six milles	0,92
Sept milles	0,80
Huit milles	0,71
Neuf milles	0,64
Dix milles	0,57
Vingt milles	0,30
Trente milles	0,20
Quarante milles	0,14
Cinquante milles	0,094

L'été précédent j'avais fait les expériences suivantes sur une ligne de trente-trois milles, avec du fil de cuivre n° 17 et une batterie de cinquante couples. Dans ce cas je m'étais servi d'une petite romaine qui m'a permis de peser avec un degré très-satisfaisant d'exactitude les grandes forces magnétiques, mais non pas les petites, cependant avec une approximation suffisante et en accord avec des résultats récents pour confirmer la loi en question.

Tableau des résultats.

40 couples circulant dans	2	milles ont attiré et soulevé	9 onces.
—	4	—	4
—	6	—	3
—	8	—	2 $^1/_2$
—	10	—	2 $^1/_4$
—	12	—	$^1/_8$
—	14	—	$^1/_8$

et chaque addition de deux milles jusqu'à trente-trois a fourni une force d'attraction et de soulèvement de $^1/_8$ d'once.

On remarque une grande irrégularité dans la courbe des résultats entre le dixième et le douzième mille, ce qui est dû, sans nul doute, à quelque inexactitude dans l'appareil qui a servi à faire les pesées. Quoi qu'il en soit, je pense qu'on ne lira pas sans intérêt la note suivante sur la loi du pouvoir conducteur des fils, que je dois à mon ami Mr. le professeur Draper, de l'Université de New-York.

Note sur la loi du pouvoir conducteur des fils,
par Mr. J.-W. Draper.

On a souvent élevé l'objection que, si le pouvoir conducteur des fils pour l'électricité était en raison inverse de leur longueur et en raison directe de leur section, la transmission des signaux télégraphiques à travers des fils d'une grande longueur ne pouvait point avoir lieu, et même qu'il ne pouvait pas exister un multiplicateur galvanique consistant en un fil faisant un grand nombre de circonvolutions autour d'une aiguille. Cette dernière objection a été présentée pour la pre-

mière fois par le professeur Ritchie de l'Université de Londres, comme une preuve absolue que la loi en question devait être inexacte. Il y a néanmoins un moyen extrêmement simple de prouver que des signaux peuvent être transmis à travers des fils d'une très-grande longueur, et que le multiplicateur galvanique, loin de contredire la loi en question, est fondé précisément sur son existence.

En admettant l'exactitude de la loi de M. Lenz, les *quantités* d'électricité qui peuvent être émises par une source électromotrice constante à travers une série de fils dont les longueurs sont en proportion arithmétique, seront toujours en proportion géométrique. Or, la courbe dont les ordonnées et les abscisses comportent cette relation, est une logarithmique dont l'équation est $a^y = x$.

1° Si nous supposons que la base du système que représente la courbe qu'on discute est plus grande que l'unité, les valeurs de y entre $x = 0$ et $x = 1$ seront toutes négatives.

2° En faisant $y = 0$ on trouve que la courbe coupera l'axe des x à une distance de l'origine égale à la limite.

3° En faisant $x = 0$, on trouve que y est infini et négatif.

Or, ce sont ces propriétés de la logarithmique qui fournissent une explication du cas en question. Admettant que x représente les quantités d'électricité, et y les longueurs des fils, on aperçoit aussitôt que les parties de la courbe que nous devons considérer se trouvent toutes dans le quatrième quadrant où les abscisses sont positives et les ordonnées négatives.

Par conséquent, lorsque le courant de la batterie passe sans intervention d'un fil intermédiaire, sa valeur est égale à l'unité; mais à mesure qu'on ajoute successivement de nouvelles longueurs de fils, l'électricité qui passe éprouve une diminution d'abord rapide, puis ensuite de plus en plus lente, et ce n'est que lorsque le fil est devenu infiniment long qu'il cesse entièrement de conduire, parce que l'ordonnée $-y$ devient alors une asymptote à la courbe.

Il résulte de là, qu'au point de vue pratique, lorsqu'on a atteint une certaine limite, la diminution de l'intensité des forces devient *très-faible*, tandis que l'augmentation dans les longueurs du fil est extrêmement grande. Il est donc possible de concevoir deux fils dont l'un serait un million de fois plus long que l'autre, et qui tous deux cependant transmettraient des quantités d'électricité ne présentant point de différence sensible, quand on les mesurerait à un galvanomètre délicat. Mais, dans ces circonstances, si le long fil est enroulé de manière à agir comme multiplicateur, son influence sur l'aiguille sera infiniment plus grande que celle du fil qui est plus court que lui.

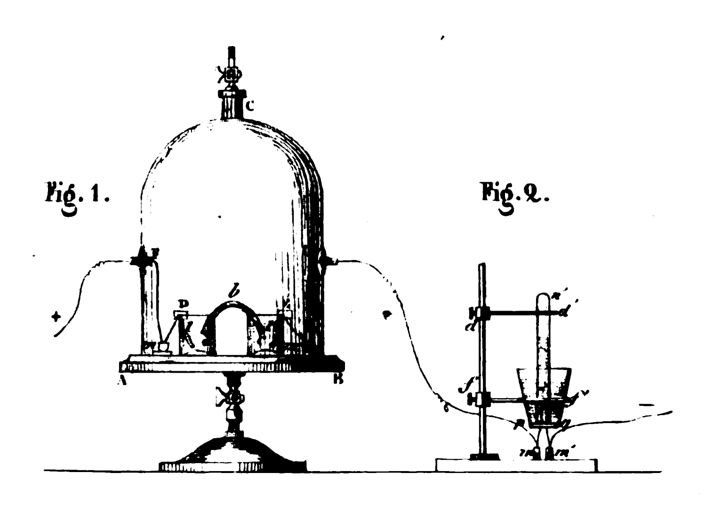
Enfin nous pouvons conclure de ce qui précède, relativement aux transmissions télégraphiques avec une batterie d'une force électromotrice donnée, que lorsqu'on aura atteint une certaine distance, la diminution de l'effet pour une augmentation dans la distance deviendra inappréciable.

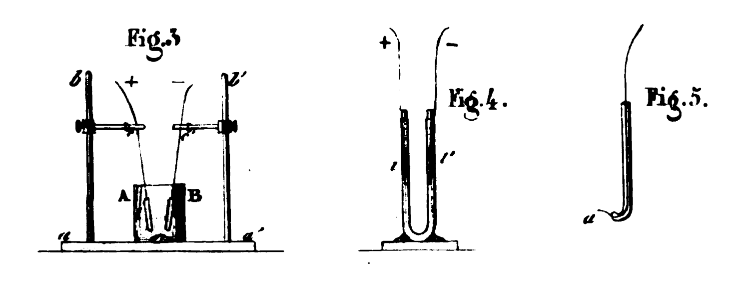
DE L'INFLUENCE QU'EXERCE LA PRÉSENCE DU FER SUR DES COURANTS D'INDUCTION D'ORDRES SUPÉRIEURS, par Mr. H.-W. Dove. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Berlin*, pour août 1842.)

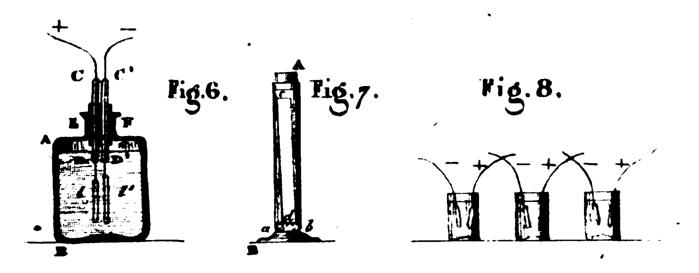
Le courant primaire que l'auteur a employé était produit soit par une pile galvanique, soit par la décharge d'une bouteille de Leyde, soit par une machine de Saxton. Chacune des hélices $a_{,}$ $a_{,,}$ $a_{,,,}$ a_{4}... était renfermée dans une hélice $b_{,}$ $b_{,,}$ $b_{,,,}$ b_{4}... avec laquelle elle n'avait aucune communication métallique. Le courant primaire circule dans $a_{,}$; $b_{,}$ forme une paire avec $a_{,,}$, $b_{,,}$ avec $a_{,,,}$, $b_{,,,}$ avec a_{4}, b_{4} avec a_{5}, et donnent ainsi les courants d'induction d'ordres supérieurs. Dans ce cas l'influence qu'exerce, sur l'accroissement de l'intensité, l'introduction de faisceaux de fils de fer dans l'hélice est très-considérable; on voit en effet devenir très-sensibles des courants dont on n'apercevait pas une trace avec l'induction purement électro-dynamique. Il résulte de là que l'influence qu'exercent, sur l'affaiblissement du courant, les tubes qui enveloppent les faisceaux de fils et les hélices enveloppantes fermées, devient extrêmement sensible. Dans les degrés supérieurs de l'induction galvanique, et avec la machine de Saxton, l'aiguille du galvanomètre finit par éprouver une secousse brusque, semblable à celle que produirait une impulsion de très-courte durée; puis elle ne présente plus aucun mouvement, tandis que l'effet physiologique continue d'avoir lieu. Avec l'électricité de frottement, l'introduction de morceaux de fer massifs affaiblit l'intensité, celle de faisceaux de fils l'accroît. Avec des courants

électriques provenant d'autres sources, ces deux circonstances produisent un accroissement dans l'intensité, mais la seconde plus que la première. En général les courants d'induction d'ordre supérieur se comportent exactement comme ceux de second ordre, auxquels ils donnent naissance.

PLANCHE III.







Arch. de l'Élec. Année 1844 (T. 4.) P. 224.

Art. Edm. Becquerel.

ux Abonnés de la *Bibl. Univ.* pour 1844.

urront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me uvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à acune, et les années 1841 à 1843 pour 32 fr. chacune, *non com- frais de port.*

AVIS.

er et le 2me volume des *Archives de l'Électricité* (années et 1842) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

Météorologie électrique, par Mr. Ath. Peltier (1re partie). 173

Des lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps, par Mr. Edmond Becquerel 221

De la décomposition par électrolysation des composés secondaires, par J.-F. Daniell et W.-A. Miller. 259

Description d'une série d'expériences faites avec la batterie à eau, suivie de recherches dirigées dans le but d'étudier la relation entre les effets chimiques et électriques qui ont lieu avant et après que le circuit est fermé, par J.-P. Gassiot 262

Quelques observations sur la décomposition voltaïque des solutions, par A. Connel 265

Du caractère intermittent du courant voltaïque dans certains cas d'électrolyse, et de l'intensité de différentes combinaisons voltaïques, par Mr. Joule 269

De quelques phénomènes de décomposition voltaïque, par W. Beetz. 276

Sur un nouveau procédé pour augmenter à volonté la force électromotrice d'un courant galvanique, et sur la polarisation galvanique en général, par Mr. Poggendorff 285

Nouvelles recherches relatives au prétendu courant de retour ou contre-courant dans la pile de Volta, par Mr. Poggendorff 297

Sur la conductibilité de la terre pour le courant électrique, par Mr. Matteucci. 304

Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy, par MM. H. Fizeau et L. Foucault. 311

Expériences faites sur le courant d'une batterie de Grove de cent couples circulant à travers un fil isolé, de cent soixante milles de longueur, par Mr. S.-F.-B. Morse 326

De l'influence qu'exerce la présence du fer sur des courants d'induction d'ordres supérieurs, par Mr. H.-W. Dove 331

SUPPLÉMENT
A LA
BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
DE GENÈVE.

ARCHIVES
DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

N° 15. (Tome IV. — 1844.)

Publié le 28 octobre 1844.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,
AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
CHEZ B. GLASER,
Rue de la Pélisserie, *n°* 133.

PARIS,
CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,
Rue Dauphine, n. 36.

1844

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraissent tous les deux mois ; les six cahiers bimestriels forment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pages environ, même format et caractère que la Bibliothèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l'année 1844) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs.
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Pour Genève et la Suisse, au BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE, chez B. GLASER, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.
Pour Paris et la France, chez ANSELIN, successeur de MAGIMEL, rue Dauphine, n° 36, à Paris.
Pour Turin et le Piémont, chez PIC et chez BOCCA, à Turin.
Pour Milan et le R° Lombard-Vénitien, chez DUMOLARD, à Milan.
Pour Rome et les Ét. Rom., chez CAPOBIANCHI, employé des Postes, à Rome.
Pour le reste de l'Italie, chez PIATTI, libraire, à Florence.
Pour la Hollande, chez DELACHAUX, libraire, à Amsterdam.
Pour l'Allemagne et le Nord, chez MICHELSEN, libraire, à Leipsick.
Pour la Grande-Bretagne, chez BAILLIÈRE, à Londres.



DE LA PRODUCTION DE L'OZÔNE PAR VOIE CHIMIQUE, par Mr. SCHŒNBEIN, prof. de chimie à l'Université de Bâle.

J'ai fait connaître, il y a quelques années, une série d'expériences au moyen desquelles j'ai démontré que, pendant la décomposition de l'eau par la pile voltaïque, il se dégage sur l'électrode positif, outre l'oxigène, une substance qui émet une odeur particulière, et à laquelle j'ai donné pour cette raison le nom d'*ozône*.

J'ai réussi aussi, par des expériences, à rendre extrêmement vraisemblable l'identité de cette substance odorante avec la substance qui produit l'odeur électrique, et qui se montre quand il se dégage de l'électricité dans l'air libre par les pointes du conducteur d'une machine électrique ordinaire. Ce n'est pas uniquement sur le fait qu'elles dégagent une odeur identique, que j'ai cherché à établir l'identité des deux substances qui apparaissent dans des circonstances en apparence si diverses; j'ai fait voir qu'elles présentent encore une similitude complète dans leurs propriétés voltaïques, et que sous ce rapport elles possèdent à un haut degré, comme les radicaux, particulièrement comme le chlore et le brome, la propriété de développer une polarisation négative dans l'or et le platine.

Il se pourrait que parmi mes lecteurs il y en eût qui n'eussent pas eu connaissance de mon Mémoire intitulé: *Observations sur l'odeur qui s'échappe pendant l'électrolysation de l'eau, et, par les pointes, pendant l'émission de l'électricité ordinaire*, dont l'original a été inséré dans les Mémoires de l'Académie des sciences de Munich (voyez aussi *Bibl. Univ.*, août 1840). Je vais donc rappeler ici les résultats que j'ai obtenus il y a quatre ans, relativement à l'ozône, et j'hésite d'au-

tant moins à le faire que mes récentes recherches sur ce sujet se rattachent immédiatement à mes travaux antérieurs.

Depuis plusieurs années j'ai eu souvent l'occasion, dans mes recherches électro-chimiques, d'apercevoir pendant l'électrolysation de l'eau, au-dessus et dans le voisinage de l'auge de décomposition, une odeur extrêmement semblable à celle qui s'échappe des pointes pendant l'émission de l'électricité ordinaire. L'ignorance complète dans laquelle nous sommes relativement à la cause de l'odeur électrique, et la présence de cette odeur dans des circonstances si diverses en apparence, avaient depuis longtemps excité ma curiosité, et elles m'ont engagé à faire des expériences dans le but de jeter quelque lumière sur ce sujet. Longtemps mes recherches ont été sans résultats ; mais enfin j'ai réussi à lever en partie, sinon complétement, le voile qui recouvre encore ce phénomène, et à frayer la route vers la solution de cette énigme.

Voici d'abord les résultats auxquels je suis arrivé quant à l'odeur particulière qui se développe pendant la décomposition électrolytique de l'eau :

1) Cette odeur continue à se faire apercevoir même après la cessation du courant voltaïque produit par l'eau, c'est-à-dire après l'électrolysation de l'eau.

2) L'odeur phosphoreuse n'est émise que par l'électrode positif, car si l'on recueille dans des vases séparés les gaz produits par la décomposition de l'eau, on ne remarque l'odeur en question que dans le vase qui renferme l'oxigène, tandis qu'on n'en trouve pas une trace dans celui de l'hydrogène.

3) Les gaz recueillis mélangés offrent aussi cette odeur de phosphore.

4) On peut garder aussi longtemps qu'on veut, dans des flacons bien fermés, le principe odorant mélangé avec de l'oxigène ou avec du gaz détonant.

5) Le développement de ce principe dépend des circon-

stances suivantes : *a*) de la nature du métal qui joue le rôle d'électrode positif, *b*) de la nature chimique du liquide électrolytique, et *c*) de la température de ce liquide ou de l'électrode positif. — Pour ce qui est de la première de ces circonstances, mes expériences ont fait voir que le platine et l'or seuls, servant d'électrode positif, dégagent l'odeur en question ; mais non les corps métalliques plus oxidables, ni le charbon. On sait, d'après mes observations antérieures, que le fer, servant d'électrode positif, se comporte comme l'or ou le platine avec l'oxigène séparé électrolytiquement, c'est-à-dire qu'il fait dégager, comme eux, l'oxigène à sa surface. Quant à sa propriété de retenir le principe odorant, le fer ne se distingue pas des métaux oxidables ou autrement dits positifs. — Relativement à la seconde circonstance, j'ai découvert que l'odeur électrique se dégage de l'eau distillée, mélangée avec de l'acide sulfurique pur, ordinaire et fumant, avec de l'acide phosphorique, avec de l'acide nitrique pur, et une série de sels oxigénés. Je n'ai pas pu l'obtenir avec des solutions aqueuses de chlorides, de bromides, d'iodides, d'acide hydrochlorique, d'acide hydrobromique et de sulfate d'oxidule de fer, non plus qu'avec de l'acide nitrique concentré. Si l'on ajoute aux solutions aqueuses qui favorisent le développement de l'odeur électrique, seulement de très-petites quantités d'acide nitreux, ou d'acide nitroso-nitrique, de sulfate d'oxidule de fer, de chlorure de fer et de chlorure d'étain, il ne se développe pas la moindre trace de principe odorant, quelle que soit l'énergie avec laquelle l'électrolysation de l'eau a lieu. Avec une solution aqueuse de potasse, j'ai trouvé que tantôt il se développe de l'odeur, tantôt point, sans que jusqu'à présent j'aie pu découvrir les conditions auxquelles il faut attribuer l'un et l'autre phénomène. — Quant à l'influence de la température sur la production de l'odeur électrique, on ne voit point se développer d'odeur semblable en chauffant fortement un liquide dans lequel il s'en fait un grand développement lorsqu'il est froid. Mais si

on le laisse refroidir, le principe odorant reparaît cependant toujours. J'ai encore observé que de l'acide sulfurique, étendu de cinq à six fois son volume d'eau, possède au plus haut degré la propriété de faire développer l'odeur phosphoreuse sur l'électrode positif. Cependant il arrive, mais rarement, qu'un mélange de ce genre fournit de l'oxigène complétement dépourvu d'odeur. J'ai tout lieu de croire que l'absence d'odeur est due à quelque impureté adhérente à la surface de l'électrode positif d'or ou de platine; car si l'on traite ce dernier avec de l'acide hydrochlorique, et qu'on le lave ensuite soigneusement avec de l'eau distillée, le dégagement du gaz recommence.

6) Je prends un flacon qui est rempli d'oxigène dégagé sur l'électrode positif et répandant l'odeur électrique; j'y verse seulement quelques pincées de charbon en poudre, de limaille de fer, de zinc, d'étain et de plomb, ou d'arsenic métallique, de bismuth et d'antimoine en poudre, ou aussi quelques gouttes de mercure, et je secoue ensuite le vase: l'odeur disparaît presque instantanément. Le fer et le charbon paraissent être les substances qui la font disparaître le plus promptement. Elle disparaît aussi quand on met dans le flacon du platine ou de l'or chauffé; et le même effet est produit par de petites quantités de solutions aqueuses de chlorure de fer ou d'étain, ou bien aussi de sulfate d'oxidule de fer, et par quelques gouttes d'acide nitreux ou d'acide nitroso-nitrique.

7) Si l'on tient, pendant quelques instants seulement, une lame d'or ou de platine dans un vase qui renferme notre principe odorant, le métal (or ou platine) est polarisé électro-négativement, c'est-à-dire qu'il acquiert la propriété, si on le met dans un liquide conducteur avec du platine ou de l'or ordinaire, de développer un courant avec lequel il joue le rôle de cathode. Mais pour que cette polarisation ait lieu, il faut: *a*) que les métaux que j'ai nommés aient la température ordinaire, et *b*) que de plus ces métaux ne soient pas recouverts de la plus légère couche d'humidité. De l'or ou du platine chauffé

ne se polarise pas plus que ce même métal plongé préalablement dans l'eau.

Je me sers, pour ces expériences de polarisation, de deux lames d'or ou de platine le plus semblables entre elles que possible, chacune d'environ deux pouces de longueur sur un tiers de pouce de largeur et munie d'un fil de même métal. Quand je me suis convaincu qu'un couple ainsi formé, plongé dans de l'eau faiblement acidulée (avec de l'acide sulfurique) ou dans de l'eau pure, et mis par ses fils en relation avec le galvanomètre, ne développe point de courant, je prends une de ces lames, je la sèche et je la plonge dans un flacon qui renferme le principe odorant. Selon la quantité de ce dernier, c'est-à-dire selon le plus ou le moins de force de l'odeur, et selon la durée de l'immersion du métal, j'obtiens, en mettant ce dernier en relation avec le galvanomètre, une plus ou moins grande déviation de l'aiguille dans le sens négatif. Il n'était pas rare que cette déviation fût de 170° à 180° lorsque l'immersion du platine durait cinq secondes; et quelquefois, dans les mêmes circonstances, j'ai vu l'aiguille décrire le cercle entier. Cependant les courants que j'ai obtenus sont de si courte durée, qu'on ne peut les regarder que comme instantanés. Quant aux métaux plus oxidables que le platine et l'or, je n'ai trouvé encore que chez le cuivre la propriété d'être polarisé négativement par le principe odorant. Cependant le cuivre, comparé aux métaux nobles, ne la possède qu'à un faible degré. Je n'ai point fait encore d'expériences avec l'argent; mais je ne doute pas que ce métal ne se comporte comme l'avant-dernier que j'ai nommé. Une autre remarque que je dois faire, c'est que le galvanomètre dont je me suis servi a plus de deux mille tours.

8) L'état polaire de l'or et du platine dure quelque temps, lorsque ces métaux sont exposés à l'air atmosphérique ordinaire; je l'ai observé encore, bien qu'affaibli, quand les lames polarisées étaient depuis cinq heures de temps exposées à l'air.

9) Quand on tient plongées dans une atmosphère d'hydro-

gène, pendant quelques secondes seulement, une lame de platine polarisée [1], cette lame perd par là sa propriété électromotrice. Cependant, pour que le métal soit exactement dépolarisé, il est de toute nécessité que son séjour dans ce gaz ne soit ni trop long, ni trop court ; car, dans le premier cas, le platine devient positif, et dans le second, il est encore un peu négatif. Une température qui ne va pas jusqu'au rouge vif fait également disparaître l'état de polarisation du platine et de l'or.

10) De l'oxigène obtenu par voie électrolytique, et qu'on a dépouillé de son odeur électrique par les moyens indiqués à l'article 6, a perdu complétement la propriété de polariser l'or et le platine, et se montre aussi indifférent sous le rapport voltaïque que le même gaz obtenu par la voie chimique ordinaire.

Je passe aux phénomènes de polarisation et d'odeur produits par l'électricité ordinaire des machines.

11) Si l'on tient une lame d'or ou de platine bien propre, à environ un pouce de la pointe émoussée d'un fil métallique quelconque, qui communique avec le premier conducteur d'une bonne machine électrique ordinaire, il suffit de quelques tours de roue pour polariser négativement d'une manière sensible la lame de métal. Quand j'exposais successivement, pendant trente tours de roue, les deux côtés de cette lame à l'action de l'aigrette électrique, la pointe d'émission étant de laiton et ayant deux lignes d'épaisseur, la plaque métallique acquérait la propriété de faire dévier de 60° en moyenne, dans le sens négatif, l'aiguille de mon galvanomètre ; soixante tours de roue produisaient une déviation de 90°, les circonstances étant d'ailleurs les mêmes. — Si le métal qui émettait l'électricité était une lame d'or, trente tours de la machine polarisaient si énergiquement la lame de platine qu'elle pouvait faire dévier l'aiguille de 180°. Les courants produits dans ces circonstances

[1] Une lame d'or à laquelle l'ozône a communiqué la polarité négative ne perd pas cette polarité quand on la plonge dans de l'hydrogène.

sont aussi de si courte durée, qu'on peut les considérer comme instantanés. Parmi les métaux plus oxidables que l'or et le platine, le cuivre est le seul auquel j'aie réussi à donner une faible polarité négative au moyen de l'électricité ordinaire.

12) Le platine et l'or se polarisent de même négativement quand on les tient en face d'une pointe qui émet de l'électricité négative.

13) Le platine polarisé négativement par l'une ou l'autre électricité perd son énergie électromotrice extraordinaire, si on le met pendant quelques instants dans une atmosphère d'hydrogène, et à ce mode de dépolarisation s'applique exactement ce qui a été dit à l'article 9. La polarité du métal disparaît également sous l'action de la chaleur.

14) Si l'on met en contact immédiat avec le conducteur la lame de platine ou d'or, c'est-à-dire, si ces métaux mêmes servent de pointes émettantes, on ne peut y développer l'état de polarisation quelle que soit la longueur du temps pendant lequel on leur fait jouer ce rôle.

15) Si les lames d'or ou de platine se trouvent à une température élevée pendant que l'aigrette électrique agit sur elles, elles ne sont pas plus polarisées que lorsqu'elles sont entourées d'une couche d'eau, quelque mince qu'elle soit.

16) Si les pointes qui émettent l'électricité sont chauffées ou entourées d'une couche d'eau, l'électricité qui en sort a perdu sa propriété de polarisation. Quelque long que soit le temps pendant lequel on tiendra les lames d'or ou de platine devant ces pointes, jamais ces lames ne présenteront même une trace de polarisation. Mais ce qui est encore particulièrement digne de remarque, c'est cette singulière circonstance qu'on ne peut apercevoir la moindre odeur sur les pointes chauffées ou entourées d'une couche d'eau. Mes expériences m'ont appris que si on enveloppe la pointe métallique d'un petit morceau de toile humecté d'eau distillée, on peut compter d'obtenir l'électricité complétement inodore, quelle que soit l'énergie avec la-

quelle elle est émise. Si la pointe est de platine chauffé, par exemple, et qu'on approche le nez de ce métal, on n'aperçoit pas la moindre odeur électrique, tant qu'il est encore à une certaine température; mais une fois le refroidissement arrivé à un certain point, le principe odorant reparaît, et, à ce qu'il m'a semblé, avec d'autant plus de force que la température de la pointe s'abaisse davantage.

Comment expliquer les phénomènes que je viens de rapporter, et quelles conséquences en déduire? — Pour ce qui est de l'odeur qui se développe sur l'électrode positif pendant l'électrolysation de l'eau, on peut à peine s'empêcher de conclure de ce qui précède, qu'elle est due à une substance particulière gazéiforme, qui se sépare du liquide électrolytique en même temps que l'oxigène. Mais de quelle nature est ce corps? Est-il simple? est-il composé? — Quant à son état voltaïque, il présente le plus grand rapport avec le chlore et le brôme, au sujet desquels j'ai démontré, il y a quelque temps, que s'ils entourent le platine ou l'or en couche très-mince, ces métaux sont polarisés électro-négativement, et que de l'eau renfermant du brôme ou du chlore se comporte négativement avec de l'eau pure. J'ai, de plus, démontré que ces métaux perdent de nouveau la polarité qu'ils ont reçue du chlore ou du brôme, lorsqu'on les met dans une atmosphère d'hydrogène. — Relativement à sa propriété électromotrice, le corps en question est donc parfaitement semblable au chlore et au brôme, et de cette grande analogie on serait tenté de conclure qu'il leur est aussi semblable sous le rapport chimique, et qu'ainsi c'est un radical. — Si d'ailleurs nous considérons que, déjà à la température ordinaire, la plupart des métaux détruisent l'odeur électrique, c'est-à-dire, se combinent avec le principe odorant; que ce principe ne se montre point du tout quand l'électrode positif n'est pas formé d'un métal très-difficilement oxidable ou, comme on dit, éminemment électro-négatif; que le gaz odorant n'est pas non plus dégagé par un courant, quand le liquide élec-

trolytique renferme une substance avide d'oxigène, par exemple un sel d'oxidule de fer ; et, enfin, que le corps odorant ne se montre jamais que sur l'électrode positif; si, dis-je, nous considérons tous ces faits, nous trouverons plus fondée encore la conjecture que j'ai avancée plus haut, que ce principe odorant est un radical éminemment électro-négatif.

On prétendra peut-être que cette substance est composée, et produite par voie secondaire. En effet, la production d'un corps semblable n'est pas impossible, et moi-même j'étais d'abord porté à attribuer à une combinaison de ce genre cette odeur particulière. Mais les considérations suivantes me paraissent s'opposer à cette supposition. — Comme le mélange de l'eau chimiquement pure (de celle du moins que nous regardons comme telle) avec des substances aussi diverses que l'acide sulfurique, l'acide nitrique, l'acide phosphorique, avec une série de sels oxigénés, et même avec de la potasse, fournit le principe odorant, ce dernier ne peut guère provenir que de l'eau, et non des substances avec lesquelles elle est mélangée. Mais quel produit secondaire l'eau laisse-t-elle arriver vers l'électrode positif? L'oxigène qui y est dégagé pourrait se combiner en partie avec l'eau, pour former du peroxide d'hydrogène. Mais cette combinaison n'est pas à l'état gazeux à la température ordinaire, et sa vapeur n'a aucune espèce d'odeur. De plus, mes dernières expériences m'ont démontré que du platine entouré d'une enveloppe de ce peroxide d'hydrogène est positif à l'égard du platine ordinaire. Le principe odorant ne peut donc pas être de l'eau oxigénée, à moins qu'il n'existe un autre degré d'oxidation de l'hydrogène dans lequel il y ait encore plus d'oxigène que dans le peroxide. Cette combinaison serait-elle un radical composé, et le chlore, le brôme, l'iode et le fluor devraient-ils être regardés comme ayant avec elle de l'analogie? Ainsi que mes recherches l'ont prouvé il y a quelque temps, les peroxides de manganèse, de plomb et d'argent, et vraisemblablement aussi ceux des autres métaux se comportent, sous le

rapport voltaïque, exactement comme le chlore et le brôme : ces deux classes de corps sont électro-négatifs à un haut degré. Ce fait n'indique-t-il pas aussi une ressemblance dans leur constitution chimique ? Je n'ose avancer aucune opinion à ce sujet. Dans l'état actuel de nos connaissances chimiques, nous ne pouvons pas encore dire que le chlore et ces autres corps soient des composés ; aussi considéré-je également comme *élémentaire* le corps doué d'une odeur phosphoreuse, qui est dégagé par l'action du courant voltaïque.

Mais si nous partons de la supposition que le principe odorant est un corps simple, si les motifs énoncés plus haut font voir clairement que ce principe est renfermé dans l'eau, si, d'ailleurs, on n'aperçoit aucune trace d'odeur particulière avant l'électrolysation de l'eau, nous devons en conclure que ce que nous nommons eau pure renferme deux combinaisons électrolytiques différentes : l'une formée d'oxigène et d'hydrogène, l'autre du principe odorant et de quelque élément électro-positif. Quand le courant vient à passer par cette eau-là, les deux électrolytes qui la constituent sont décomposés : les *anions*, c'est-à-dire l'oxigène et le principe odorant se montrent à l'électrode positif, les *cathions* sur l'électrode négatif. Quant à ces derniers, l'un est, comme nous le savons, de l'hydrogène ; or il est possible que l'anion odorant soit combiné avec un élément différent de l'hydrogène ; mais jusqu'à présent toutes les expériences que j'ai faites, dans le but de découvrir encore quelque chose d'autre que de l'hydrogène dans le gaz rendu libre sur l'électrode négatif, ont été sans résultat, ce qui paraît être une preuve que le corps odorant se trouve dans l'eau combiné avec de l'hydrogène. — Je ne regarde cependant point la chose comme complétement hors de doute. Si le principe odorant ne se dégage que lorsque l'électrode positif se trouve être de l'or ou du platine, cela est dû à la même cause en vertu de laquelle, pendant l'électrolysation de l'eau, l'oxigène ne se dégage librement que sur ces métaux. L'affinité entre eux et le

principe odorant n'est pas assez grande, à la température ordinaire, pour qu'il en résulte une combinaison chimique. D'autres corps métalliques peuvent, en revanche, se combiner avec ce principe dans les mêmes circonstances. Le fait, que de l'eau acidulée, soumise à une forte chaleur, ne répand point l'odeur particulière qui nous occupe, même quand on se sert d'or et de platine, ce fait doit s'expliquer ainsi : c'est que ces métaux, à une haute température, se combinent avec le corps odorant. Si la présence des sels d'oxidule de fer ou d'étain est un obstacle au dégagement du gaz odorant, cela me paraît tenir à ce que l'oxidule se combine avec l'oxigène de l'eau, le principe odorant avec l'hydrogène. En d'autres termes, ce principe odorant agit sur les solutions de sels métalliques que j'ai nommées, exactement comme du chlore ou du brôme libre. La présence de l'acide nitreux occasionne une réaction semblable. Pour comprendre comment du platine ou de l'or échauffé ne se polarise pas dans le gaz odorant, ou pourquoi les métaux polarisés sont dépolarisés par l'action d'une grande chaleur, il faut supposer que, dans les deux cas, l'or et le platine se combinent chimiquement avec la substance odorante.

Avant d'aller plus loin, j'indiquerai comment, selon moi, le principe odorant agit par polarisation sur l'or et le platine. J'ai déjà eu l'occasion d'énoncer l'opinion, que la cause des modifications que la plupart des métaux dans certaines circonstances paraissent subir quant à leur état électromoteur, ne doit pas être cherchée dans des modifications de ces corps mêmes, mais dans des substances déposées à leur surface. Si, par exemple, du platine se polarise positivement dans une atmosphère d'hydrogène, négativement dans du chlore ou du brôme, ce métal ne subit lui-même aucune espèce de modification : c'est dans l'enveloppe d'hydrogène ou de chlore que se trouve le siége de la force électromotrice, et nullement dans le platine. Ce dernier n'est que le porteur de la matière qui produit le courant. J'ai fait connaître depuis peu de temps, dans plusieurs publications

périodiques, les preuves à l'appui de cette assertion ; je n'ai donc pas besoin de les reproduire ici. Il en est de même pour la polarité négative acquise par l'or et le platine dans une atmosphère formée par notre corps odorant. Celui-ci forme autour des métaux que je viens de nommer une enveloppe extrêmement mince, qui n'a avec eux qu'une adhérence mécanique. Or si l'on plonge un métal ainsi préparé dans de l'eau où l'on a mis un morceau du même métal dont la surface est à l'état naturel, les deux morceaux de métal forment une pile avec le liquide ; et si l'on ferme le circuit de cette pile, le principe odorant se combine avec l'hydrogène de la molécule d'eau la plus voisine, il y a électrolysation et en même temps un courant. Comme j'ai exposé en détail, dans le cahier d'août 1839 du *Philos. Magazine*, ma théorie sur les piles de chlore et de brôme, et que tout ce que j'ai dit trouve son application dans le cas qui nous occupe maintenant (en substituant au chlore et au brôme notre corps odorant), je ne crois pas nécessaire d'entrer ici dans de plus grands développements à ce sujet.

Quant à la dépolarisation du platine et de l'or, qui a lieu quand ces métaux sont plongés dans une atmosphère d'hydrogène, elle peut être due à ce que ce dernier élément se combine avec la couche du principe odorant adhérente au métal. Cependant, pour concevoir la disparition de la polarité négative des deux métaux dans les circonstances données, il n'est pas même nécessaire d'admettre l'existence d'une combinaison chimique de ce genre. Comme l'hydrogène, par exemple, polarise le platine positivement, que le principe odorant polarise ce même métal négativement, ce dernier ne manifesterait point de force électromotrice s'il était entouré d'un mélange d'hydrogène et de principe odorant, et si ces deux substances, douées de pouvoirs de polarisation opposés, se trouvaient mélangées dans de certaines proportions. J'ai fait voir, dans le temps, que la polarité négative, communiquée au platine par le chlore ou le brôme, peut se détruire si l'on plonge pendant quelques instants le métal

dans l'hydrogène. Comme on le voit, sous le rapport voltaïque, ce dernier exerce sur le principe odorant une action tout à fait semblable à sa réaction sur le chlore ou le brôme. Or, ne pouvons-nous pas aussi conclure de cette ressemblance d'action que notre corps odorant est un corps semblable au chlore et au brôme ?

Si du platine ou de l'or, recouvert d'une couche d'eau, n'est pas polarisé d'une manière sensible par le gaz odorant, cela tient peut-être à la solubilité extrêmement faible de cette substance dans l'eau. La courte durée du courant que ces métaux développent à leur état de polarisation, tient sans doute à l'enveloppe infiniment mince que le principe odorant forme autour d'eux.

Passons maintenant à l'explication des phénomènes de polarisation que l'électricité ordinaire, émise par des pointes, produit dans l'or et le platine. Il suffit d'une légère comparaison avec les phénomènes auxquels le principe odorant donne naissance, pour se convaincre qu'il règne la plus grande analogie entre les deux séries de phénomènes. Les mêmes métaux qui sont polarisés négativement par le principe odorant, le sont aussi lorsqu'on les fait entrer dans la sphère d'activité de l'électricité émise par la machine. Il faut de plus, pour obtenir ce résultat, la présence de certaines conditions qui s'accordent parfaitement avec celles sous l'influence desquelles la polarisation négative se développe dans les métaux nobles au moyen du principe odorant. En outre, le fait que ces métaux ne se polarisent pas lorsqu'on enlève à l'électricité son odeur particulière par les moyens indiqués plus haut, paraît démontrer d'une manière convaincante qu'il ne faut pas chercher la cause de la polarité dans l'acte d'émission de l'électricité, mais dans le principe odorant qui est dû à cet acte. On est conduit à la même conclusion par cet autre fait que l'or et le platine acquièrent une polarité négative, qu'ils soient exposés à l'influence de l'électricité positive ou à celle de l'électricité négative ; car,

si cette dernière avait une part immédiate à la polarisation de ces métaux, ceux-ci ne pourraient évidemment pas, dans des circonstances exactement opposées, se polariser de la même manière. Mais on sait que l'odeur phosphoreuse se développe sur les pointes d'un conducteur négatif, aussi bien que sur celles d'un conducteur positif; et comme, d'après des raisons qui ont été indiquées, la cause de la polarité négative se trouve dans le principe odorant, nous ne devons pas être surpris que les métaux nobles soient polarisés négativement dans le voisinage de pointes tant positives que négatives.—Si des pointes échauffées ne dégagent pas l'odeur électrique, on doit l'attribuer à ce que le principe odorant se combine avec leur substance à une température élevée. Pourquoi l'eau qui recouvre les pointes agit-elle sur elle comme une température élevée? C'est ce que je ne saurais dire. Le fait remarquable, que l'or et le platine ne passent pas à l'état de polarisation s'ils forment eux-mêmes les pointes qui émettent l'électricité, ce fait est dû, selon moi, tout simplement à ce que, dans ces circonstances, le principe odorant ne peut pas adhérer aux métaux, puisque le métal et ce principe odorant se repoussent en vertu de leur état de tension électrique.—Quant aux deux faits, que le platine et l'or chauffés ou humides ne se polarisent pas lorsqu'on les place en face de pointes qui émettent de l'électricité, et que l'hydrogène et l'influence d'une température élevée détruisent la polarité des métaux nobles, les explications qui ont précédé me dispensent de m'y arrêter davantage.

Je crois maintenant pouvoir conclure des faits qui se rapportent à la polarisation de l'or et du platine par l'électricité ordinaire, qu'il n'y a, quant à la cause qui la produit, aucune différence entre la polarité négative de ces métaux, due au principe odorant qui se dégage pendant l'électrolysation de l'eau, et celle qui est due à l'aigrette électrique odorante. Mais si l'on admet cette conclusion, il faut aussi accorder que dans l'air comme dans l'eau se trouve un électrolyte, dont l'élément

électro-négatif ou l'anion est le même corps qui se dégage sur le pôle positif dans l'électrolysation de l'eau. Or, comme ce qu'on appelle émission de l'électricité par les pointes n'est pas autre chose que l'acte de neutralisation des principes électriques contraires, et que cet acte constitue ce que les physiciens nomment un courant, il n'est pas difficile de comprendre comment le gaz odorant vient à se développer sur les pointes. L'électrolyte que renferme l'air et dont il a été question plus haut, n'a qu'à se trouver dans le circuit d'un courant de ce genre, pour que ses éléments se séparent, et pour qu'il soit électrolysé. Or là où l'acte de neutralisation électrique a lieu avec le plus de vivacité, il doit en être de même de l'électrolysation; là aussi, par conséquent, l'odeur électrique doit être le plus forte, et l'or et le platine doivent être polarisés avec le plus d'énergie. Ces conséquences sont, en effet, pleinement confirmées par l'expérience.

Après avoir pris connaissance des faits dont il a été question jusqu'ici, qui ne pensera pas à l'odeur particulière qu'on aperçoit dans les orages et toujours dans le voisinage d'un lieu que la foudre a frappé? On la désigne d'ordinaire, il est vrai, comme étant de nature sulfureuse, mais beaucoup d'observateurs l'ont aussi comparée à celle du phosphore. (Voy. ce que dit Arago sur ce sujet dans l'*Annuaire pour l'an* 1838.) J'ai eu moi-même deux fois l'occasion, dans ma vie, d'observer l'odeur développée par la foudre.—J'étais âgé de douze ans, lorsqu'un jour, me trouvant à quelques pas seulement de l'église de mon lieu de naissance (Metzingen dans le Wurtemberg), la foudre tomba sur le clocher. Comme la porte de l'église était ouverte, j'entrai avec plusieurs personnes immédiatement après l'événement, et aussitôt je sentis une odeur assez piquante que je crus aussi alors être celle du soufre. En même temps, tout l'intérieur de l'église était rempli d'une vapeur bleuâtre. L'été dernier, la foudre tomba sur une petite chapelle établie sur notre pont du Rhin (à Bâle). Six heures après, environ,

à mon retour dans mon habitation qui est à cent cinquante pas de cette chapelle, on me raconta qu'immédiatement après la chute de la foudre toute la maison avait été remplie d'une vapeur piquante qui fut aperçue durant plusieurs heures. Je ne pus plus distinguer d'odeur dans les chambres dont les portes s'ouvrent fréquemment ; mais dans la chambre de réception, où personne encore, ce jour-là, n'était entré avant moi, j'en distinguai une bien sensible, et ma femme que je fis appeler me dit que cette odeur ressemblait exactement, quoique plus faible, à celle qu'elle avait sentie lors de la chute de la foudre. Si je voulais en donner une idée, je dirais qu'elle ressemblait à une faible odeur de phosphore et d'acide sulfureux. J'ajouterai que chez mes voisins l'on a aperçu la même odeur que chez moi.

Mon témoignage n'était peut-être pas nécessaire pour confirmer le fait que la chute de la foudre occasionne le développement d'un principe odorant ; mais ce phénomène est encore tellement énigmatique qu'on ne saurait réunir assez d'observations sur ce sujet, et particulièrement d'observations faites par des physiciens. Cependant, le fait que je viens de raconter en dernier lieu a encore ceci de curieux, que l'odeur particulière s'est développée d'une manière remarquablement forte à une distance relativement grande de l'objet frappé par la foudre.

Pour moi, je suis très-disposé à admettre que le principe odorant dégagé par la foudre est la même substance qui est mise en liberté par l'électricité de nos machines ordinaires et pendant l'électrolysation de l'eau ; aussi ne douté-je point que du platine ne se polarisât négativement quand on le mettrait dans un lieu rempli de l'odeur que dégage la foudre. J'ai en outre la persuasion que si, dans des jours d'orage, on transportait des lames de platine ou d'or dans de hautes régions de l'air, elles prendraient la polarisation électro-négative. C'est surtout pour engager les physiciens à faire des expériences de ce genre, que j'énonce ici cette conjecture.

L'éclair est en grand ce qu'est en petit l'électricité qui s'échappe des pointes : le corps électrolytique qui renferme le principe odorant est répandu dans toute l'atmosphère ; celle-ci vient-elle à être traversée par des éclairs, ce corps composé est électrolysé sur une grande échelle, dans les points où ce phénomène a lieu, et son anion est dégagé en quantités relativement considérables. De là vient la forte odeur qui se fait apercevoir dans les lieux où la foudre est tombée. Qu'elle ressemble à celle du soufre selon les uns, à celle du phosphore selon les autres, cela peut être également vrai, car j'ai observé que si l'on renferme en aussi grande quantité que possible dans un vase (comme cela a lieu, par exemple, dans l'auge de décomposition) la substance dégagée par l'électrolysation de l'eau, elle donne une odeur un peu piquante, et que cette odeur ressemble plutôt à celle du phosphore qui a été exposé à l'air. Or, chacun sait que le préjugé vulgaire appelle phosphoreuse toute odeur piquante. Si donc le corps gazeux dégagé par la foudre pénètre à l'état de concentration dans le nez de l'observateur, celui-ci croira sentir une odeur de soufre ; si, au contraire, elle se présente mélangée avec beaucoup d'air, il croira sentir une odeur de phosphore. Il suit aussi de ce que j'ai dit, que plus on est rapproché du lieu où la foudre est tombée, plus l'odeur qu'on sent sera piquante.

Avant de terminer, je veux encore soulever une question importante. L'électrolyte que je suppose exister dans l'air est-il indépendant de la vapeur aqueuse que l'air renferme, ou sa présence dans l'air serait-elle due à cette dernière ? L'expérience est naturellement la seule voie qui puisse conduire à la solution de cette question, et jusqu'à présent je n'ai pas encore eu le temps d'en faire usage. Si le corps électrolytique était amené dans l'air par l'évaporation de l'eau, il faudrait, toutes choses restant d'ailleurs égales, que l'augmentation de l'humidité de l'air fût accompagnée d'une augmentation dans l'intensité de

l'odeur développée sur les pointes qui émettent de l'électricité, et l'on ne devrait point apercevoir d'odeur lorsque l'électricité passe dans de l'air complétement dépourvu d'eau. A peine ai-je besoin de dire que, selon la nature de la réponse que l'expérience donnera, nous aurons à résoudre des problèmes nouveaux et d'une haute importance. A quelles vastes conjectures, par exemple, ne serait-on pas conduit, si le principe odorant prenait naissance dans un mélange d'oxigène pur et d'azote? Il importe également de savoir si de l'eau formée par voie synthétique, avec de l'oxigène et de l'hydrogène purs, fournit la substance odorante lorsqu'on l'électrolyse.

Quoi qu'il en soit, la présence de l'électrolyte en question dans l'eau et dans l'air, les deux matières les plus répandues sur la surface du globe, ne peut guère manquer d'avoir de l'importance, et il se pourrait que de nouvelles expériences établissent que ce corps joue un rôle nouveau et jusqu'à présent inconnu dans l'économie de la nature soit animée soit inanimée, mais particulièrement dans les phénomènes électriques de notre planète. Que les physiciens et les chimistes n'aient eu jusqu'à présent aucune connaissance ou que des pressentiments de l'existence d'une semblable combinaison, n'importe; cela ne prouve rien contre la réalité de son existence. Un corps bien palpable n'a-t-il pas, durant vingt ans, mis en défaut les plus habiles analystes, et ne les a-t-il pas conduits à admettre qu'il ne renfermait aucune substance étrangère? Et aujourd'hui nous apprenons que ce corps est un composé. Et quel chimiste, avant les brillantes découvertes de Davy, a eu connaissance des métaux, qui constituent une partie si importante des alcalis et des terres?

Si nous nous représentons cet électrolyte répandu, seulement en quantités relativement petites, dans l'atmosphère et dans l'eau; si nous admettons, en outre, que ses éléments soient intimement combinés ensemble, et que ce corps lui-même soit sous beaucoup de rapports très-semblable à l'eau, il

est aisé de concevoir pourquoi, jusqu'à présent, nos réactifs chimiques n'ont pas encore pu en démontrer l'existence.

D'ailleurs, pour acquérir la plus entière certitude sur le sujet dont il est question dans ce Mémoire, il est nécessaire, avant tout, que la substance odorante soit isolée et recueillie en quantité sensible, et que ses relations chimiques avec d'autres corps soient exactement déterminées. Le seul moyen, pour le moment, de parvenir à ce but, c'est d'opérer l'électrolysation de l'eau en quantités aussi grandes que possible, au moyen de l'étonnante pile construite sur le principe de celle de Grove. L'oxigène obtenu ainsi est recueilli à part, et le gaz odorant mélangé avec lui en est séparé par des moyens convenables[1]. Peut-être le mercure serait-il surtout propre à ce but, sa combinaison avec le principe odorant pouvant, vraisemblablement, se décomposer aisément par l'effet d'une forte chaleur.

Je ne puis m'empêcher, en terminant, d'émettre le vœu que ceux des physiciens et des chimistes qui sont disposés à poursuivre avec moi l'étude des phénomènes dont j'ai parlé, puissent se procurer un appareil de Grove, car ce n'est que grâce à ce puissant instrument qu'il m'a été possible d'étudier les faits qui font le sujet de la première partie de ce travail. Dans peu de temps, j'en ai la ferme persuasion, la pile de Grove conduira, dans le domaine de la chimie, à des découvertes pour le moins aussi brillantes que celles dont le grand physicien anglais a enrichi la science au commencement de ce siècle.

Bâle, 10 *avril* 1840.

Maintenant que le lecteur a connaissance du contenu de ce Mémoire que j'ai publié il y a juste quatre ans, il sera en état de comprendre la marche des recherches que je me propose de décrire dans ce petit ouvrage, et de saisir sans peine la liai-

[1] En cas que des recherches ultérieures démontrent la nature simple du principe odorant, je propose d'appeler ce corps *Ozône*.



son qui existe entre mes travaux antérieurs sur l'ozône et ceux que j'ai entrepris dès lors sur ce même corps. J'espère donc aussi que le lecteur me saura gré d'avoir mis en tête de cet écrit le Mémoire que je viens de rapporter.

La quantité d'ozône qui est produite soit par l'électrolysation de l'eau, soit par l'émission de l'électricité ordinaire dans l'air libre, étant excessivement peu considérable, il ne m'avait pas encore été possible, malgré tous mes efforts, d'obtenir ce singulier corps en quantité appréciable à la balance, de l'isoler et d'étudier en détail sa nature chimique. Quelle que soit en effet aujourd'hui la puissance de nos appareils voltaïques, il est aisé de voir que, pour obtenir à l'aide d'une pile, par exemple mille pieds cubes seulement d'oxigène combiné à de l'ozône, et dont on veut dégager le principe odorant, il faudrait une dépense assez considérable de temps et d'argent, que mes moyens ne me permettraient pas de faire.

Je me vis donc forcé, et à mon grand regret, de renoncer à porter mes recherches sur un terrain qui me promettait une riche moisson de résultats importants au point de vue théorique, et qui excitait singulièrement ma curiosité. Cependant je n'abandonnai pas l'espoir de parvenir tôt ou tard à mon but par un procédé quelconque, et je me flattais en particulier de réussir un jour à produire l'ozône autrement que par le procédé voltaïque ou électrique. Il me parut que, pour arriver à connaître exactement la nature chimique de ce corps odorant, il fallait, de toute nécessité, l'obtenir par des moyens purement chimiques. C'est vers ce but que mes efforts ont été dirigés dans ces derniers temps, et la description qu'on va lire des expériences auxquelles je me suis livré, fera voir avec évidence que j'ai complétement réussi.

L'odeur particulière qui s'échappe soit pendant l'électrolysation de l'eau, soit pendant les décharges électriques ordinaires m'avait conduit, il y a quelques années, à la découverte de l'ozône; c'est encore le sens de l'odorat qui m'a servi de

guide dans mes recherches sur la production de cette substance par voie chimique, et qui m'a fourni les premières bases des expériences que je vais rapporter. J'ai cru devoir mentionner ce fait, parce que la connaissance des circonstances, même insignifiantes en elles-mêmes, qui ont présidé à une découverte, offre un intérêt tout particulier, et n'est pas sans valeur pour l'histoire de la science. Mais j'ai encore un autre motif, c'est de faire voir par là quelle importance les odeurs peuvent acquérir dans des recherches chimiques, et par conséquent combien elles méritent d'attirer l'attention. Si, en effet, j'avais négligé cette indication, je n'aurais certainement pas obtenu mes premiers résultats relatifs à l'ozône, ni découvert les faits dont il va être question.

L'odeur que développent l'électricité de nos machines ou les décharges d'électricité atmosphérique, a été assez souvent comparée à celle que dégage le phosphore exposé à l'air. D'autre part l'identité qui existe entre l'odeur de l'ozône voltaïque et celle de l'ozône électrique, et l'accord que présentent les propriétés électro-motrices de ces deux principes odorants, m'ont tout naturellement porté à diriger mes recherches sur le phosphore même, et à étudier avec soin sous le rapport voltaïque l'état de l'air atmosphérique, quand il est mis en contact avec du phosphore à la température ordinaire. Ce sont les faits auxquels je suis arrivé en opérant dans les circonstances que je viens d'énoncer, qui font l'objet principal de cet écrit; je les distinguerai par des numéros d'ordre, afin de pouvoir y renvoyer plus aisément dans l'exposé des considérations théoriques que j'en déduirai.

1. Si l'on plonge, sans l'avoir fait sécher auparavant, un petit morceau de phosphore dans un flacon de grandeur médiocre (d'un litre environ) rempli d'air atmosphérique à la température ordinaire, on observe aussitôt une odeur qui est l'odeur particulière au phosphore, qui a quelque ressemblance

avec celle de l'ail, mais que l'on ne peut point confondre avec celle de l'ozône, pour peu qu'on ait l'odorat délicat.

2. Si on ne laisse le phosphore que peu de temps dans le flacon, une minute par exemple, c'est-à-dire assez pour que l'odeur devienne sensiblement forte, et qu'ensuite on tienne plongée pendant 20 secondes environ seulement, dans l'air de ce flacon, une lame d'or ou de platine bien propre, cette lame présentera une polarisation positive assez considérable quand on placera entre elle et une lame ordinaire de même métal un galvanomètre sensible, et entre les lames métalliques mêmes de l'eau pure ou faiblement acidulée.

Si on laisse le phosphore plus longtemps dans le flacon, l'odeur en question deviendra de plus en plus forte, et finira par atteindre un maximum d'intensité. En examinant de temps en temps l'état voltaïque de l'air au-dessus du phosphore, on trouve que son pouvoir de polarisation positive s'accroît aussi jusqu'à ce qu'il atteigne à son tour un maximum.

3. Ce maximum atteint, le pouvoir de polarisation prend une marche inverse, c'est-à-dire que le pouvoir de polarisation positive de l'air du flacon diminue, devient de plus en plus faible, jusqu'à ce qu'il disparaisse entièrement.

4. Mais cet état ne dure pas longtemps; en vertu de circonstances dont je parlerai plus tard, il passe plus ou moins rapidement à l'état négatif; en d'autres termes, l'atmosphère du flacon acquiert le pouvoir de donner, au bout d'un petit nombre de secondes, une polarisation négative passablement forte à une lame d'or ou de platine qu'on y tient plongée.

5. La polarité négative suit aussi une marche progressive jusqu'à un certain maximum; et il résulte de mes expériences que ce maximum peut s'étendre à peu près aussi loin que s'étend, dans le sens inverse, celui de la polarité positive.

6. Si l'atmosphère qui entoure le phosphore s'approche de son zéro voltaïque, on aperçoit un changement sensible dans l'odeur qu'elle dégage; cette odeur ressemble déjà beaucoup à

celle de l'ozône. Mais dès que cette atmosphère a passé à l'état de polarisation négative, l'odorat le plus délicat ne peut plus saisir la plus légère différence entre l'odeur de l'ozône produit par voie voltaïque ou par voie électrique, et celle de notre atmosphère; et cette odeur diffère tellement, ainsi que je l'ai fait remarquer, de l'odeur propre du phosphore, qu'il suffit de les avoir perçues une seule fois toutes les deux, pour ne plus les confondre.

7. Quand l'air qui est au-dessus du phosphore est devenu négatif, il peut bien dans certaines circonstances persister assez longtemps dans cet état; mais il peut tout aussi aisément revenir à celui d'indifférence voltaïque, et même reprendre la polarité positive. Ces modifications dans l'état voltaïque de notre atmosphère, correspondent aussi à celles qui ont lieu dans l'odeur qu'elle dégage.

L'expérience suivante fournit un exemple frappant des curieuses variations que la polarité éprouve. Six ballons numérotés, et d'environ 30 litres chacun, ont été remplis d'air atmosphérique. On a plongé dans chacun d'eux un morceau de phosphore d'un pouce de longueur, sans enlever préalablement l'eau qui y restait adhérente; les parois des vases étaient de même passablement humectées de l'eau distillée avec laquelle on venait de les laver. On procéda à l'expérience le 29 mars à 7 heures du soir, et par une température de 7° à 8°. Voici les résultats qui ont été obtenus :

Ballon N° 1.

Le 30	mars,	à 11	heures	du matin;	déviation	positive	170°
»	»	5	»	du soir	»	»	152
31	»	6	»	»	»	négative	120
1	avril	5	»	»	»	»	45
2	»	7	»	»	»	»	100

Ballon N° 2.

Le 30	mars, à	11	heures	du matin ;	déviation	positive	180°
»	»	5	»	du soir	»	négative	2
31	»	6	»	»	»	»	115
1	avril	5	»	»	»	»	100
2	»	7	»	»	»	»	115

Ballon N° 3.

Le 30	mars, à	11	heures	du matin ;	déviation	positive	60°
»	»	5	»	du soir ;	neutralité	voltaïque	
31	»	6	»	»	déviation	négative	115
1	avril	5	»	»	»	»	80
2	»	7	»	»	»	»	110

Ballon N° 4.

Le 30	mars, à	11	heures	du matin ;	déviation	positive	50°
»	»	5	»	du soir	»	négative	40
31	»	6	»	»	»	»	120
1	avril	5	»	»	»	»	110
2	»	7	»	»	»	»	170

Ballon N° 5.

Le 30	mars, à	11	heures	du matin ;	déviation	positive	35°
»	»	5	»	du soir ;	neutralité	voltaïque	
31	»	6	»	»	déviation	négative	60
1	avril	5	»	»	»	»	115
2	»	7	»	»	»	»	115

Ballon N° 6.

Le 30	mars, à	11	heures	du matin ;	déviation	positive	20°
»	»	5	»	du soir	»	négative	20
31	»	6	»	»	»	»	50
1	avril	5	»	»	»	»	115
2	»	7	»	»	»	»	90

Je n'ai pas poussé au delà de quatre jours l'étude de l'état voltaïque de l'atmosphère de phosphore ; mais je sais par d'autres faits que j'ai découverts depuis lors, qu'à la température ordinaire et avec des vases non hermétiquement fermés, l'air en question conserve sa polarité négative tant que le phosphore n'est pas entièrement oxidé. Mais si on ferme hermétiquement

un flacon d'essai, dont l'atmosphère est devenue électro-négative, et qui renferme encore un morceau de phosphore, cette polarité disparaît au bout de quelque temps, et l'atmosphère redevient positive, en continuant de l'être tant que les circonstances restent les mêmes, c'est-à-dire tant qu'on n'introduit pas d'air frais ou d'oxigène dans le ballon. Ces phénomènes peuvent paraître bizarres et énigmatiques au premier abord; mais nous en comprendrons plus tard parfaitement le sens.

8. Quant aux circonstances qui font varier l'état voltaïque de notre atmosphère, la plus importante est la température. Quand elle est à zéro ou de peu de degrés au-dessus, l'air placé au-dessus du phosphore prend assez promptement la polarité positive, mais jamais il ne passe à l'état contraire, jamais il ne dégage une odeur d'ozône. En d'autres termes, l'atmosphère ne deviendra pas négative, et ne donnera pas d'autre odeur que celle de l'ail, tant que le phosphore n'y sera pas lumineux ou n'y répandra qu'une lueur extrêmement faible.

9. Plus la température s'élève, du moins en dedans de certaines limites, plus sont rapides les variations que subit l'état voltaïque de l'atmosphère qui entoure le phosphore. Si, par exemple, le thermomètre indiquant 16°, l'on plonge un morceau de phosphore dans un flacon rempli d'air, au bout de peu de minutes la polarité positive atteint son maximum; puis, après un nouvel intervalle de 10 à 12 minutes, ce même air présente déjà une polarité négative et l'odeur d'ozône. On peut même abréger encore un peu le temps nécessaire pour produire cette alternative de polarité et d'odeur. Par exemple, si l'on prend pour l'expérience un petit flacon, et qu'avec du papier joseph on frotte le phosphore assez fort pour le rendre très-lumineux dans l'obscurité, l'air acquiert dès la première minute la polarité négative et l'odeur d'ozône; et quand le phosphore approche de son point de fusion, il communique presque aussitôt la polarité négative à l'air ambiant, et y dégage une odeur électrique.

10. Le phosphore, mis pendant un temps quelconque en présence d'oxigène pur, ne développe dans ce gaz que la polarité positive et jamais l'odeur d'ozône.

11. Si l'on fait tomber quelques gouttes d'éther dans un flacon rempli d'air, et qu'on y mette ensuite du phosphore, celui-ci fera bien prendre rapidement à cet air la polarité positive, mais jamais il n'y fera reparaître l'état voltaïque contraire, et n'y développera l'odeur d'ozône.

12. De l'air atmosphérique mélangé avec de la vapeur d'alcool, du gaz oléfiant ou du gaz acide hydrochlorique, ne prend point la polarité négative, quand on le met en contact avec du phosphore; et il ne s'y développe pas non plus l'odeur d'ozône. Il présente les mêmes circonstances que le mélange d'air et d'éther, ou l'oxigène pur.

13. De l'air mélangé avec de l'hydrogène se comporte comme de l'air pur.

14. Le courant développé par du platine ou de l'or, auquel on a fait prendre dans de l'air atmosphérique la polarité positive ou négative, n'a qu'une durée très-courte et presque instantanée.

15. Une lame de platine à laquelle on a fait prendre la polarité négative en la plongeant dans l'atmosphère qui entoure le phosphore, perd cette polarité quand on la plonge dans une atmosphère d'hydrogène. Il suffit de quelques secondes pour obtenir ce résultat; mais si on fait durer plus longtemps l'expérience, la lame prend la polarité positive. Ce changement n'a pas lieu avec une lame d'or à laquelle on a communiqué la polarité négative.

16. Des lames d'or ou de platine auxquelles on a fait prendre la polarité négative ou positive, la perdent immédiatement quand on les soumet à une température élevée.

17. Si l'on fait séjourner, pendant un temps quelconque, de l'air atmosphérique sur du phosphore, jusqu'à ce que son pouvoir de polarisation positive soit réduit à zéro; si après

cela on enlève le phosphore et qu'on introduise dans cet air des substances aisément oxidables, telles que du fer réduit et très-divisé, du zinc, de l'étain, du plomb, du bismuth, de l'antimoine, etc., en petites parcelles, et qu'on agite le vase, ce mélange reprend alors presque instantanément sa polarité positive.

18. Si on tient de l'air atmosphérique en contact avec du phosphore jusqu'à ce qu'il ait atteint son maximum de polarité positive, et qu'on agite cet air avec les substances mentionnées ci-dessus, sa polarité positive éprouve un accroissement sensible. Par exemple, de l'air qui avait séjourné sur du phosphore a communiqué une polarité positive si énergique à une lame d'or qu'on y avait tenue plongée pendant 20 secondes, que cette lame fit dévier l'aiguille de 85°. Cet air agité avec de la limaille de métal, et placé dans les mêmes circonstances, a donné à la même lame une polarité telle que l'aiguille a été déviée de 170° dans le même sens.

19. Quand on laisse l'air atmosphérique prendre son maximum de polarité négative, et qu'on y agite de la limaille de fer ou d'autre métal, cette polarité disparaît presque à l'instant même, et non-seulement l'air a passé à l'état de simple neutralité voltaïque, mais il a pris une polarité positive.

Dans une expérience où de l'air atmosphérique avait fait prendre au bout de vingt secondes, à une lame d'or, une polarité négative assez forte pour faire dévier l'aiguille de 100°, ce même air, agité avec un métal facilement oxidable, prit une polarité positive qui rendit la lame capable de faire dévier l'aiguille de 80° dans le sens contraire.

20. En perdant sa polarité négative, l'air perd aussi entièrement son odeur d'ozône; puis l'odeur de phosphore reparaît en même temps que la polarité positive.

21. Après avoir fait passer successivement un mélange d'air et de vapeur de phosphore, de l'état négatif à l'état positif, ou d'un degré inférieur de polarité positive à un degré plus élevé,

en l'agitant avec des substances aisément oxidables, si on traite cet air avec une solution de chlorure d'or, il perd entièrement son pouvoir de polarisation positive. Des parcelles d'or de grosseur sensible se déposent au fond de la solution d'or qui a opéré cette dépolarisation.

Avant de pousser plus loin la description de mes expériences, je vais discuter les faits consignés dans les paragraphes qui précèdent ; quand ces singuliers phénomènes auront été expliqués, on comprendra mieux ceux dont il sera question dans la suite.

A peine est-il besoin de faire remarquer que le pouvoir que possède l'air mélangé de phosphore de faire passer à l'état de polarité positive ou négative, suivant les cas, une lame d'or qu'on y tient plongée, est dû à des substances particulières qui entourent le métal, et qu'ainsi ce dernier ne fait autre chose que supporter ou recueillir les substances électromotrices, dont le dégagement est produit par l'action de l'air atmosphérique sur le phosphore. Il résulte aussi de là que, pendant que cette action de l'air a lieu, il se produit au moins deux substances qui ont la forme de gaz ou celle de vapeurs, dont l'une est électropositive et l'autre électronégative. De plus, les faits rapportés ci-dessus font voir que, dans les circonstances ordinaires, la formation du principe électropositif a surtout lieu quand l'air et le phosphore commencent à agir l'un sur l'autre, tandis que le principe électronégatif se développe en plus grande abondance quand cette réaction tend à sa fin. En d'autres termes et plus exactement : le corps électropositif se forme principalement à des températures basses ; le corps électronégatif à des températures élevées. Le fait de l'apparition simultanée de ces deux espèces de corps, dans des rapports déterminés par la température, fait comprendre parfaitement la variation que nous avons signalée dans l'état voltaïque de l'air qui a séjourné sur du phosphore. Si les deux substances se trouvent en quantité telle que leurs forces électromotrices se fassent équilibre, l'air

qui les renferme paraîtra neutre sous le rapport voltaïque ; si le principe électropositif domine, l'air a la polarité positive ; si c'est le principe électronégatif qui l'emporte, l'air doit avoir la polarité négative.

Maintenant la question est de savoir, d'abord, ce que c'est que cette substance électropositive qui se produit par suite de l'action lente de l'air atmosphérique sur le phosphore. Les chimistes attribuent au phosphore la propriété de se transformer en vapeurs, même à la température ordinaire, dans le vide ou dans l'air, particulièrement dans l'air atmosphérique. Or c'est avant tout et principalement par l'absorption de ces vapeurs que l'air atmosphérique qui a séjourné sur du phosphore, acquiert son pouvoir de polarisation positive. La manière dont le phosphore se comporte sous le rapport voltaïque fournit la preuve évidente de cette assertion.

Si on passe très-légèrement et une seule fois un morceau de phosphore d'un bout à l'autre d'une lame d'or, celle-ci se comporte ensuite, à l'égard d'une lame ordinaire de même métal, comme du zinc à l'égard de l'or, comme un métal aisément oxidable à l'égard d'un autre qui l'est moins ; en d'autres termes, la lame sur laquelle on a passé du phosphore a pris la polarité positive, ce qui se comprend aisément d'après le principe de la théorie chimique. Or, de même que par le léger frottement il se forme, dans l'opération ci-dessus, une couche mince de phosphore sur la feuille d'or, il s'en dépose aussi une légère couche sur une lame d'or qu'on plonge dans de l'air atmosphérique chargé de vapeur de phosphore, et ainsi la lame prend la polarité positive.

Un second fait en faveur de l'hypothèse que j'ai avancée, c'est que de l'air atmosphérique, qu'on a rendu électropositif par le contact avec du phosphore, perd immédiatement ce caractère quand on l'agite dans un vase avec une solution de chloride d'or. Si l'on opère cette dépolarisation sur une masse d'air un peu considérable, on observe distinctement de l'or à

l'état métallique se séparer du chlore. Or c'est une chose connue que le phosphore décompose très-aisément le chlorure d'or.

L'état positif de l'air en question pourrait aussi tenir en partie à la présence de gaz hydrogène phosphoré; car, si je ne me trompe, les chimistes admettent que dans le contact du phosphore avec l'eau il se produit des traces de ce gaz. Or il résulte de mes expériences avec le gaz hydrogène phosphoré, que ce gaz possède un pouvoir de polarisation positive si énergique, qu'il suffit de quelques bulles mélangées avec un litre d'air pour rendre celui-ci sensiblement positif.

Pendant la lente action de l'air atmosphérique sur le phosphore à la température ordinaire il se forme, comme on sait, de l'acide phosphatique, ou un mélange d'acide phosphoreux et d'acide phosphorique. Or il est possible, que de petites particules de cet acide se trouvent à l'état de suspension dans l'air atmosphérique mis en contact avec le phosphore. Mais cet acide, aussi bien que l'acide phosphoreux proprement dit, se montre électropositif; car si l'on forme une combinaison voltaïque avec l'un ou l'autre des deux acides en question et l'eau pure ou mélangée de quelques gouttes d'acide hydrochlorique, et qu'on mette dans le circuit un galvanomètre sensible, l'aiguille éprouve une déviation assez notable, et telle que l'acide phosphatique ou l'acide phosphoreux se montre positif à l'égard de l'eau. Comme toutefois l'air atmosphérique est encore fortement positif, même après être resté longtemps en contact avec de l'eau, il en résulte nécessairement que sa polarité positive est due principalement à la proportion de vapeur de phosphore qu'il renferme.

Nous allons maintenant résoudre la question suivante, bien supérieure en importance à la première, savoir : Qu'est-ce que le corps électronégatif qui est produit par la combustion lente du phosphore dans l'air atmosphérique ?

Je n'hésite pas un instant à déclarer que c'est de l'ozône, c'est-à-dire cette substance odorante qui se montre soit dans

l'électrolysation de l'eau à l'électrode positif, soit dans les décharges électriques qui ont lieu à l'air libre. Voici les faits qui viennent à l'appui de cette assertion.

a) L'odeur de l'air atmosphérique qui a séjourné sur le phosphore et a pris la polarité négative, est tellement identique avec celle qui se développe lors de l'électrolysation de l'eau et des décharges électriques ordinaires, que l'odorat le plus délicat ne peut distinguer entre elles la moindre différence.

b) Les substances odorantes qui apparaissent dans les trois circonstances ci-dessus, possèdent à un degré prononcé la faculté d'imprimer la polarité négative à des lames d'or ou de platine.

c) Les courants qui se développent par suite de cette polarisation n'ont qu'une courte durée.

d) Les substances qui possèdent la faculté de faire disparaître l'odeur de l'air auquel le phosphore a communiqué la polarité négative, sont aussi les mêmes qui détruisent le principe odorant qui se développe à l'électrode positif dans l'électrolysation de l'eau.

e) De même que l'air atmosphérique, qui a été soumis à l'action du phosphore, perd sa polarité négative quand on l'agite avec des substances aisément oxidables, ainsi l'oxigène qui s'est dégagé dans l'électrolysation de l'eau perd le pouvoir de polarisation négative, quand on le met également en contact avec ces mêmes substances oxidables, telles que le fer, le zinc, etc.

f) Une lame de platine qui a pris la polarité négative sous l'action de l'ozône chimique, perd cette polarité exactement comme le fait une lame que l'on a polarisée négativement au moyen de l'ozône voltaïque ou électrique. De l'or auquel on a communiqué la polarité négative par l'un ou l'autre des deux procédés, n'éprouve, ainsi que nous l'avons déjà vu, aucune modification voltaïque dans l'hydrogène.

Ces faits suffisent complétement, selon moi, pour démon-

trer l'identité de l'ozône obtenu par la voie chimique avec celui qui est produit dans l'électrolysation de l'eau et l'émission de l'électricité ordinaire par les pointes. Mais si on ne trouve pas ces preuves concluantes, les faits suivants feront disparaître toute ombre de doute sur l'identité de ces trois principes.

L'accord que présente le caractère électromoteur de l'ozône produit soit par voie voltaïque, soit par voie électrique, ainsi que la manière dont ces matières odorantes se comportent avec les substances aisément oxidables, m'engagea, il y a quatre ans, à émettre la conjecture[1] que l'ozône pourrait bien être une substance semblable aux radicaux des sels. Guidé par cette idée, j'ai soumis récemment quelques couleurs végétales à l'action des diverses espèces d'ozône, chimique, voltaïque et électrique, dans l'espoir de pouvoir les détruire, comme on le fait à l'aide du chlore ou du brôme, et j'ai eu, en effet, le plaisir de voir confirmer ma conjecture.

Dans un flacon où il s'était formé de l'ozône d'après le procédé décrit ci-dessus, à l'aide du phosphore et de l'air atmosphérique, j'ai plongé des lames de papier de lakmus bleu et rougi, de façon que l'une des moitiés se trouvât en dedans, et l'autre en dehors du vase.

Si l'air renfermé dans le vase avait l'odeur d'ozône, et s'il était capable d'imprimer promptement une polarité négative sensible à une lame d'or, on voyait au bout de quelques minutes la partie du papier plongée dans le flacon devenir sensiblement blanche, et au bout d'un quart d'heure la couleur en était complétement détruite, et le papier était blanc comme s'il eût été plongé dans du chlore. On comprendra sans peine que lorsque la proportion d'ozône est moindre, il faille à l'air du flacon plus de temps pour blanchir complétement le papier coloré. J'ai de même détruit la couleur d'une solution de sirop de violette, ou d'une teinture de lakmus ou d'indigo étendue

[1] Voyez le Mémoire cité au commencement de celui-ci.

d'eau, mais encore sensiblement bleue. Avec un flacon d'environ 12 litres, rempli d'air qui contenait de l'ozône, j'ai enlevé la couleur à une demi-mesure (le *maas* de Bâle = 1,671 litre) de teinture de lakmus ou d'indigo étendue d'eau, qui avait une couleur bleue très-prononcée. Ce fait démontre la puissance blanchissante de l'ozône. Je dois ajouter que cette faculté de l'air qui renferme de l'ozône se perd dès qu'on l'agite avec des matières aisément oxidables.

Le même effet a été produit avec l'oxigène qu'on avait obtenu au pôle positif d'une pile, en décomposant une solution étendue d'acide sulfurique, qui présentait l'odeur si particulière de l'ozône ainsi que le pouvoir de polarisation négative dont nous avons parlé plusieurs fois. Je fais observer qu'il n'est pas nécessaire de recueillir l'oxigène séparément, pour faire ces expériences avec l'ozône qu'il renferme. Le gaz détonant qui se produit dans l'électrolysation de l'eau, et qui a l'odeur d'ozône, peut être employé dans le plus grand nombre des cas tout aussi bien que l'oxigène qu'on recueille à part; en particulier, on peut s'en servir pour reconnaître le pouvoir de décoloration de l'ozône préparé par le procédé voltaïque. Quand un flacon rempli d'oxigène ou de gaz détonant de cette espèce avait une odeur d'ozône assez forte, on voyait blanchir complétement dans l'espace d'un quart d'heure une bande de papier qu'on y plongeait. Mais si on enlevait au gaz cette odeur particulière en y plongeant des métaux aisément oxidables, tels que du chlorure de fer, d'étain, etc., l'air qui restait dans le flacon perdait à l'instant même son pouvoir de décoloration.

L'existence de ce pouvoir dans l'ozône chimique et voltaïque ayant été ainsi démontrée, qu'y avait-il de plus naturel que de chercher à découvrir aussi cette propriété, si curieuse et si facile à reconnaître, dans le principe odorant qui se dégage lorsque des décharges électriques ont lieu dans l'air atmosphérique? Quelque faible que soit la quantité de cette substance pour chaque décharge électrique, et quelque faible que doive être aussi,

par conséquent, l'effet qui est exercé sur une couleur organique par un pinceau électrique odorant, agissant pendant un intervalle de temps assez considérable, la décoloration d'une substance de ce genre doit infailliblement devenir sensible, pourvu que le principe colorant reste suffisamment exposé à l'action de ce pinceau électrique et qu'il se développe réellement de l'ozône dans ce dernier.

Une petite bande de papier de lakmus rougi et humide, ayant quatre pouces environ de longueur et trois lignes de largeur, a été mise sur une lame de platine qui communiquait avec le sol. J'ai placé la lame en face et à la distance d'environ trois lignes d'une pointe métallique un peu émoussée, qui était fixée au premier conducteur d'une machine électrique ordinaire, passablement puissante. Quand on mettait la machine en mouvement, un sifflement assez fort se faisait entendre, et l'odeur électrique particulière se faisait sentir d'une manière frappante tout autour de la pointe. La bande de papier coloré se trouvait donc dans une atmosphère qui avait l'odeur d'ozône. On continua à faire mouvoir la machine : au bout d'une demi-heure, les places du papier qui étaient exposées à l'action du pinceau électrique, étaient déjà sensiblement blanchies ; au bout de quatre heures (la machine continuant à être en mouvement), le papier était complétement décoloré sur une longueur de deux pouces. Il va sans dire que je l'ai toujours maintenu légèrement humecté. — J'ai répété cette expérience avec une autre bande de papier de lakmus rougi, et j'ai obtenu un résultat parfaitement identique au premier. Or, cela suffit pour faire voir clairement que le pinceau électrique en apparence, mais en réalité le principe odorant qui se dégage par l'effet des décharges électriques, détruit les couleurs organiques, exactement comme le fait l'ozône obtenu par le procédé chimique ou voltaïque, ou comme le chlore et le brôme. Il est à peine nécessaire de dire qu'une goutte d'eau, à laquelle on a donné une couleur bleue prononcée au moyen d'une teinture de lakmus ou d'une

solution d'indigo, perd sa couleur quand on l'expose à l'action du pinceau électrique.

On sait que le chlore enlève à une solution de ferrocyanure de potassium une partie du potassium que cette combinaison renferme, et qu'il la transforme en cyanide rouge. Il en est exactement de même de l'ozône, qu'il ait été obtenu par voie électrique, voltaïque ou chimique. Une goutte d'une solution de ce cyanure, exposée à l'action du pinceau électrique dans les mêmes circonstances où une bande de papier de lakmus perd sa couleur, présente déjà une teinte jaune plus foncée quand on a fait tourner la machine pendant deux minutes. Au bout de mille tours de la machine, cette goutte, mélangée avec du protosulfate de fer pur, a fourni un dépôt de couleur bleue assez prononcée, tandis que le précipité que j'ai obtenu au moyen d'une solution de cyanure ordinaire, mélangée avec le même sel de fer, avait une couleur blanche. Le double fait que la solution de cyanure prend une teinte plus foncée, et que cette solution ainsi modifiée produit des dépôts de couleur bleue quand on la mélange avec des sels de fer purs, démontre que du ferrocyanure de potassium, exposé à l'action de l'électricité, se transforme en cyanide, ou que le corps odorant qui se dégage pendant les décharges électriques, exerce sur la combinaison de cyanure la même action que le chlore.

Quand on recueille de l'oxigène chargé d'ozône au pôle positif d'une pile, qu'on le traite avec la solution de cyanure en question, l'odeur d'ozône disparaît, la solution prend une couleur jaune plus foncée, et si on la mélange avec des sels de fer oxidulé, on obtient des dépôts de couleur bleue. Les mêmes phénomènes se présentent quand on agite la solution de cyanure avec de l'air atmosphérique qui a séjourné sur du phosphore, et dans lequel l'odeur d'ozône s'est développée. Cette identité parfaite dans l'effet produit sur le sel de cyanure par l'ozône électrique, voltaïque et chimique, sert à confirmer que les trois substances odorantes sont identiques et que c'est un

radical. On comprend aisément que ce mode d'action peut servir déjà à démontrer la présence de petites quantités d'ozône.

Si l'on agite une solution d'iodure de potassium avec de l'air atmosphérique dans lequel il s'est développé de l'ozône par l'action du phosphore, cette solution prend aussitôt une couleur jaune, et l'odeur d'ozône disparaît à l'instant même. On voit se produire un phénomène parfaitement semblable, quand on traite par la même solution l'oxigène, chargé d'ozône, qui se dégage au pôle positif d'une pile ; l'ozône prend, dans ce cas, la place de l'iode et le sépare du potassium. Si on fait agir, pendant un court intervalle de temps, le pinceau électrique sur une goutte d'une solution d'iodure de potassium qu'on a fait tomber sur une feuille de platine, cette goutte prend une couleur jaune brun, c'est-à-dire elle éprouve la même modification que l'ozône chimique ou voltaïque produit sur la même solution ; et ce fait fournit une nouvelle preuve de l'identité du corps odorant obtenu par les trois moyens que nous connaissons. Il est aisé de comprendre que ce rôle de l'ozône à l'égard de l'iodure de potassium peut être utilisé pour démontrer de la manière la plus frappante la présence de quantités, même infiniment petites, de la première de ces substances. En effet, si on mélange de la colle d'amidon avec une petite quantité d'une solution d'iodure de potassium, et qu'on y plonge une bande de papier, on obtient un réactif de l'ozône, qui surpasse de beaucoup en délicatesse le meilleur galvanomètre ou l'odorat le plus fin ; aussi ne puis-je assez en recommander l'emploi à tous ceux qui répéteront mes expériences sur l'ozône, ou qui en voudront faire d'autres sur la même substance. Si l'air ou un autre corps gazeux renferme une trop faible quantité d'ozône libre pour que le galvanomètre ou l'odorat puisse en accuser la présence, mon papier d'épreuve en sera cependant affecté et prendra une couleur bleue sensible.

Il résulte de là que le moyen le plus simple de démontrer l'identité des trois espèces d'ozône est fourni par ce mélange

de colle d'amidon et d'iodure de potassium, qui devient bleu ou noir bleu quand il entre en contact immédiat avec de l'ozône. On pourra juger, par ce qui suit, du degré de sensibilité de ce réactif. Si on sort d'un flacon, par une température de 6°, un petit morceau de phosphore et qu'on l'expose à l'air sans enlever la couche d'eau qui y reste adhérente, on peut tenir longtemps mon papier d'épreuve au-dessus de ce phosphore sans le voir bleuir. Mais si l'on sèche le phosphore en le frottant légèrement avec du papier Joseph, c'est-à-dire si on développe ainsi un degré de chaleur suffisant pour rendre le phosphore très-lumineux dans l'obscurité, et qu'ensuite on expose mon papier d'épreuve à son action, il suffira de quelques secondes pour faire bleuir ce dernier. Si l'on met un petit morceau de phosphore sec dans un petit flacon rempli d'air à la température de 15° environ, et qu'on tienne suspendue dans ce flacon une petite bande de mon papier d'épreuve, celui-ci commencera à bleuir au bout d'un petit nombre de minutes. Or, dans ces deux expériences, la quantité d'ozône libre est tellement petite que nul autre procédé ne pourrait en démontrer la présence.

Faraday a déjà fait la remarque qu'un mélange de colle d'amidon et d'iodure de potassium, exposé à l'action d'un pinceau électrique, prend une couleur bleue ; mais cet habile physicien a, selon moi, expliqué ce fait d'une manière inexacte. Il a attribué la couleur bleue de l'amidon ou la décomposition de l'iodure de potassium à la présence d'acide nitrique qui, selon lui, se forme au moyen des éléments de l'air atmosphérique dans lequel ont lieu des décharges électriques. A l'appui de cette hypothèse, il rapporte l'expérience dite de Cavendish, dans laquelle on obtient du nitrate de potasse, en faisant passer des étincelles électriques à travers de l'air atmosphérique où se trouve une solution de potasse. Faraday a même obtenu du nitrate de potasse, en tenant pendant longtemps exposée à l'action d'un pinceau électrique une bande de papier imbibée

d'une solution de potasse. Mon intention étant de revenir plus tard sur ce singulier phénomène et d'exposer les conclusions auxquelles m'ont conduit, en ce qui le concerne, mes expériences et mes réflexions, je ne démontrerai pas pour le moment que la couleur bleue de mon papier réactif est due à de l'ozône, non à de l'acide nitrique. Je me contente d'observer que le ferrocyanure de potassium n'est pas, que je sache, transformé en cyanide par l'acide nitrique, et que les couleurs végétales ne blanchissent pas sous l'action de cet acide. L'acide nitrique ne présente pas l'odeur particulière qui se dégage lors de l'émission de l'électricité par les pointes.

Manière dont l'ozône se comporte à l'égard de quelques gaz composés et de quelques corps simples.

Si l'on introduit du gaz hydrosulfurique dans un flacon où, au moyen de l'action du phosphore sur l'air atmosphérique, on a fait développer de l'ozône en quantité suffisante pour bleuir fortement mon papier d'épreuve, l'air chargé d'ozône perd aussitôt son odeur particulière, son pouvoir de polarisation négative, sa puissance décolorante, ainsi que la propriété de bleuir le mélange d'amidon et d'iodure de potassium. Si l'on mêle avec l'air chargé d'ozône une proportion convenable de gaz acide hydro-sulfurique, ce gaz perd aussi son odeur.

On voit donc que l'ozône agit sur le gaz acide hydro-sulfurique exactement comme le chlore ou le brôme; et cette ressemblance d'action avec ces deux gaz nous permet de conclure qu'il y a aussi similitude de nature chimique entre l'ozône et ces corps halogènes, comme aussi que l'ozône se combine à la température ordinaire avec l'hydrogène du gaz acide hydro-sulfurique en dégageant le soufre de cette combinaison. Le gaz hydro-phosphorique, et incontestablement aussi les gaz hydro-sélénique et hydro-tellurique, se comportent avec l'ozône comme le gaz acide hydro-sulfurique.

Si on mélange avec du gaz acide hydro-sulfurique, de l'oxigène chargé d'ozône recueilli au pôle positif d'une pile, cet oxigène perd son odeur, son pouvoir de polarisation négative, celui de décoloration et la propriété de bleuir le mélange d'amidon et d'iodure de potassium ; en un mot, on lui voit perdre instantanément toutes les propriétés qui caractérisent l'ozône. Si l'on ajoute à une solution aqueuse d'acide sulfurique, qui dégage abondamment de l'ozône pendant son électrolysation, de très-petites quantités de gaz acide hydro-sulfurique dissous dans de l'eau, il ne paraît plus la moindre trace d'ozône à l'électrode positif.

Si l'on fait dégager une petite quantité de gaz acide hydro-sulfurique dans le voisinage de pointes qui servent à l'émission de l'électricité dans l'air, l'odeur d'ozône ne se développe pas autour de ces pointes, le pinceau électrique perd le pouvoir de polariser négativement des lames d'or, de blanchir les couleurs végétales, de transformer du ferro-cyanure de potassium en cyanide, de bleuir mon papier d'épreuve, et ce n'est qu'après l'entière disparition du gaz acide hydro-sulfurique que se produisent de nouveau les effets chimiques et voltaïques du pinceau électrique, rapportés ci-dessus, ainsi que l'odeur dite électrique.

Si l'on introduit de l'acide sulfureux dans un flacon renfermant de l'ozône chimique ou voltaïque, par exemple en faisant brûler dans ce vase un bâton de soufre, l'ozône disparaît aussitôt, ainsi que tous les effets qui accompagnent sa présence. Si l'on mêle une petite quantité d'acide sulfureux à une solution aqueuse d'acide sulfurique qui dégage abondamment de l'ozône quand on l'électrolyse, l'ozône cesse complétement de se dégager. Si l'on brûle un peu de soufre dans le voisinage d'une pointe qui émet de l'électricité à l'air libre, il ne se dégage plus d'odeur d'ozône autour de cette pointe, et le pinceau électrique perd aussi ses propriétés voltaïques et chimiques.

Voici encore des expériences dont les résultats sont parfai-

tement d'accord avec ceux des expériences précédentes. Si on plonge une bande de papier recouverte d'une couche du mélange d'amidon et d'iodure de potassium, d'abord dans une atmosphère de gaz acide hydro-sulfurique, hydro-phosphorique ou d'acide sulfureux, puis qu'on la transporte dans de l'air chargé d'ozône ou qu'on l'expose à l'action d'un pinceau électrique, le papier d'épreuve ne bleuit pas. Réciproquement, si ce même papier a été bleui par l'ozône et qu'ensuite on le plonge dans les gaz que j'ai nommés, il perd sa couleur bleue.

Toutes ces réactions s'expliquent dès qu'on suppose que l'ozône est un corps semblable au chlore; car on voit se produire exactement les mêmes phénomènes quand on remplace l'ozône par ce gaz, dans les expériences que j'ai décrites.

Il est aisé, maintenant, de comprendre comment la présence du gaz acide hydro-sulfurique ou de l'acide sulfureux empêche le développement de l'odeur électrique autour des pointes d'émission, et le dégagement de l'ozône sur l'électrode positif. Dans le premier cas, l'ozône qui se dégage d'une manière ou d'une autre se combine avec l'hydrogène du gaz acide hydro-sulfurique; dans le second, la double action de l'ozône et de l'acide sulfureux fait décomposer l'eau, dont l'hydrogène se combine avec l'ozône et l'oxigène avec l'acide sulfureux.

Cette action exercée par du gaz acide hydro-sulfurique, l'acide sulfureux et d'autres corps, sur une atmosphère chargée d'ozône, est propre à nous éclairer sur un fait que connaissent tous ceux qui ont observé avec quelque attention l'odeur électrique que développent les pointes d'émission. Cette odeur est tantôt très-forte, tantôt à peine sensible, et sa force ne dépend point uniquement de la quantité de l'électricité émise dans l'air par les pointes. Mes expériences m'ont fait reconnaître que, toutes les circonstances étant d'ailleurs les mêmes, l'odeur qui se développe sur les pointes d'émission est d'autant plus forte que l'air de la chambre où se trouve la machine électrique est plus pur. La quantité d'ozône qui se produit sur une de ces

pointes étant extraordinairement petite, on conçoit aisément qu'il suffit aussi de petites quantités de gaz acide hydro-sulfurique par exemple, dans l'air d'une chambre, pour détruire ou neutraliser l'ozône devenu libre. Mais dans une atmosphère où des êtres humains ont séjourné pendant quelque temps, il y a toujours des traces de ce gaz. Si donc on plaçait une machine électrique dans certains endroits où il se trouve du gaz acide hydro-sulfurique en quantité sensible, par exemple dans des lieux d'aisance, dans le voisinage de sources sulfureuses, etc., on n'obtiendrait non plus aucune trace d'ozône libre sur les pointes d'émission électrique. Il en serait de même près des monceaux de minerai sulfuré, pendant la torréfaction, opération qui remplit constamment l'air ambiant d'acide sulfureux.

Ceux qui auront répété mes expériences sur le dégagement de l'ozône au pôle positif d'une pile voltaïque, pendant l'électrolysation de l'eau, auront trouvé qu'il n'est pas rare que le principe odorant ne se développe point du tout, dans des circonstances qui paraissent être entièrement semblables à celles dans lesquelles il se dégage en abondance. Cette apparence de caprice, que présente le dégagement de l'ozône voltaïque, s'explique complétement par la réaction que certaines substances exercent sur l'ozône et dont j'ai parlé plus haut. Si, par exemple, on mélange avec de l'eau pure de l'acide sulfurique de Saxe, qui renferme de l'acide sulfureux, il ne peut point se développer d'ozône sur l'électrode positif tant qu'il se trouve de ce dernier acide dans l'eau acidulée, de même que, dans les mêmes circonstances, il ne se dégagerait point de chlore si l'eau soumise à la décomposition renfermait une combinaison électrolytique de chlore.

Dans le cas en question, l'ozône se combine avec l'hydrogène de l'eau, et l'acide sulfureux avec l'oxigène. La présence dans l'eau de petites quantités de gaz acide hydro-sulfurique et de combinaisons semblables, ou de sous-sels d'étain, en un mot de

substances qui absorberaient le chlore libre, devrait également empêcher le dégagement de l'ozône, en tant qu'il n'a lieu qu'en très-petites quantités, même pendant l'électrolysation de l'eau.

Si, à une température à laquelle le phosphore ne donnerait aucune lueur ou ne serait que faiblement lumineux dans l'obscurité, l'on approche un petit morceau de phosphore d'une pointe par laquelle s'échappe de l'électricité, le pinceau électrique ne peut pas bleuir le mélange d'amidon et d'iodure de potassium, et en général on ne voit pas se produire les effets ci-dessus mentionnés de l'électricité émise par des pointes. Il en est de même, si l'on fait l'expérience à la température ordinaire, mais dans des circonstances qui rendent impossible la combustion lente du phosphore dans l'air atmosphérique. Si, par exemple, on fait évaporer de l'éther dans le voisinage du phosphore, la température peut être de 15° à 20° sans qu'il se dégage de l'ozône par la pointe d'émission.

Si l'on plonge un petit morceau de phosphore dans de l'oxigène chargé d'ozône, qu'on a fait dégager sur l'électrode positif, l'odeur d'ozône disparaît promptement, ainsi que le pouvoir de décoloration et les autres propriétés de cet oxigène. Nous avons déjà vu aussi qu'on peut faire disparaître l'ozône préparé par voie chimique, en mélangeant avec du phosphore la substance qui en est chargée.

Ces trois faits démontrent que le phosphore aussi se comporte avec l'ozône exactement comme avec le chlore, c'est-à-dire qu'il peut se combiner avec l'ozône même à la température ordinaire.

Quant à l'hydrogène, il ne paraît pas, du moins dans les circonstances ordinaires, exercer d'action quelconque sur l'ozône. Si l'on fait séjourner longtemps de l'hydrogène libre avec de l'ozône chimique ou voltaïque, le mélange conserve son odeur particulière, son pouvoir de décoloration, etc. J'ai tenu exposé pendant tout un après-midi à l'action directe de la lumière solaire un flacon bien fermé, rempli d'un mélange d'ozône chi-

mique, d'air, et d'environ un dixième d'hydrogène. La proportion d'ozône n'a paru diminuée en aucune manière; car, après l'expérience, le mélange avait une odeur tout aussi forte qu'auparavant, et il bleuissait tout aussi promptement mon papier d'épreuve. Sous ce rapport l'ozône diffère donc essentiellement du chlore; il se peut toutefois que ce corps se combine directement mais lentement avec l'hydrogène.

Recherches théoriques sur l'origine et la nature de l'ozône.

De quelle manière devons-nous expliquer l'apparition de l'ozône? Qu'est l'ozône même? Est-ce un corps simple? Est-ce une combinaison? Nous allons essayer de répondre à ces diverses questions, en nous aidant des faits qui viennent d'être exposés.

Quant à l'identité complète de l'ozône électrique et de l'ozône voltaïque avec le corps odorant qui doit sa naissance à l'action de l'air atmosphérique sur le phosphore, nous ne pouvons plus conserver le moindre doute. Mais quelle diversité dans les circonstances où l'ozône se développe! quelles différences dans ces trois modes de production! Cependant il est aisé de voir que ces différences apparentes cachent une concordance dans les circonstances, et que celles-ci présentent l'accomplissement d'une seule et même condition. Là où de l'ozône doit se produire, il faut toujours qu'il y ait de l'azote. Or nous avons de l'azote dans le milieu où se dissémine l'électricité émise par les pointes d'un conducteur; nous en avons dans l'eau qui tient de l'air en suspension; nous en avons encore dans l'air atmosphérique que nous faisons agir sur le phosphore. L'eau qui a bien bouilli et qui par conséquent a perdu tout son azote, ne donne point d'ozône quand on l'électrolyse; il ne se produit point d'ozône dans l'oxigène pur qu'on laisse en contact avec du phosphore pendant un temps

quelconque, à la température ordinaire; de l'eau qui renferme de l'oxigène, mais qui est dépouillée d'azote, ne fournit point non plus d'ozône, tandis que, d'après mes expériences, l'eau qui ne renferme en solution que de l'azote et point d'oxigène, dégage de l'ozône lors de son électrolysation. Je dois cependant faire remarquer, quant à ce dernier point, que je ne suis pas complétement certain que l'eau dont je me suis servi ne renfermât pas, outre l'azote, quelque faible proportion d'oxigène; car dans un cas de ce genre, comme il est aisé de le voir, c'est presque impossible de s'assurer de la parfaite pureté des substances sur lesquelles porte l'expérience, c'est-à-dire de la pureté de l'azote et de l'absence complète de l'oxigène dans l'eau qui sert à la décomposition.

La présence de l'azote est donc une condition indispensable pour le dégagement de l'ozône, que ce dégagement se fasse par le procédé voltaïque, électrique ou chimique.

Examinons d'abord la production de l'ozône par le procédé voltaïque. L'apparition de ce corps sur l'électrode positif, dans les circonstances qui ont été indiquées, se comprend aisément, si l'on suppose que l'azote dissous dans l'eau est un électrolyte dont la composition est tout à fait analogue à celle du gaz acide hydrochlorique. Si, au lieu d'azote, on ajoutait à l'eau une petite quantité de cette dernière combinaison, il devrait se dégager aussi un peu de chlore, outre l'oxigène, au pôle positif; par conséquent cet oxigène présenterait une odeur de chlore plus ou moins forte, ainsi que toutes les réactions chimiques et physiques propres à une atmosphère chargée de chlore. Cet oxigène se comporterait exactement comme s'il renfermait de l'ozône: une lame d'or qui y serait plongée prendrait la polarité négative, une bande de papier de lakmus y perdrait sa couleur, le mélange d'amidon et d'iodure de potassium s'y colorerait en bleu, le ferrocyanure de potassium y deviendrait du cyanide, etc. Si l'on ajoutait à l'eau qui sert à la décomposition, outre l'acide hydrochlorique une faible proportion d'a-

cide sulfureux, d'acide hydrosulfurique, de sulfate de fer, etc., il ne pourrait point se dégager de chlore au pôle positif, ainsi que nous l'avons vu. L'eau qui renferme de l'azote se comporte donc, quand on l'électrolyse, exactement comme celle qui contient de l'acide hydrochlorique, et cette ressemblance permet bien de conclure que l'azote et l'acide hydrochlorique sont composés d'une manière analogue.

La faible solubilité de l'azote dans l'eau rend impossible d'obtenir des quantités sensibles d'ozône dans l'électrolysation d'une solution aqueuse de ce premier gaz ; et l'expérience apprend, en effet, que de l'eau qui renferme de l'air et dans laquelle on a fait passer pendant quelque temps un fort courant, ne dégage plus d'ozône. Il faut, pour voir reparaître ce corps au pôle positif, agiter de nouveau avec de l'air, etc., c'est-à-dire avec de l'azote, l'eau qu'on en a complétement dépouillée.

Supposons que l'air atmosphérique contînt, au lieu d'azote, de l'acide hydrochlorique ; supposons aussi que cette dernière combinaison ne fût pas plus soluble que l'azote, nous verrions se produire, dans l'électrolysation de l'eau qui aurait été exposée à l'action d'une atmosphère semblable, des phénomènes tout à fait analogues à ceux que nous observons dans la décomposition voltaïque de l'eau mélangée d'air ordinaire, pourvu toutefois que le chlore fût aussi difficile à se dissoudre dans l'eau que l'ozône. Je ferai remarquer en passant, que ce dernier corps ne se dissout dans l'eau qu'en très-petites quantités, ce qui le distingue essentiellement du chlore, substance assez facile à se dissoudre comme on sait. Si l'ozône était aussi soluble que le chlore, il est aisé de voir que, dans l'électrolysation de l'eau mélangée d'azote, l'oxigène dégagé sur l'électrode positif n'aurait point l'odeur d'ozône, et qu'en général il ne présenterait aucune des propriétés chimiques et voltaïques dont il a été question. Il est probable que dans ce cas-là on fût resté longtemps encore avant de pouvoir isoler l'ozône par voie voltaïque. J'ai électrolysé des quantités assez considérables d'eau mélangée

d'air, et j'ai examiné le gaz qui s'est dégagé sur l'électrode négatif dans cette expérience; mais il ne m'a pas été possible d'y découvrir autre chose que de l'hydrogène. Nous pouvons donc conclure de là que la partie électro-positive de l'azote est l hydrogène.

Quoique l'on doive admettre que, dans l'électrolysation de l'eau mélangée d'azote, il y a deux électrolytes qui sont décomposés simultanément, qu'au pôle positif il se dégage du gaz oxigène et du gaz ozône, et, au pôle négatif, de l'hydrogène provenant de l'eau et de l'azote ainsi que les deux premiers, néanmoins l'oxigène et l'hydrogène dégagés sur les électrodes présentent le même rapport de volumes que celui dans lequel ils forment l'eau. Ce fait n'a rien de surprenant dès qu'on prend en considération le faible degré de solubilité de l'azote dans l'eau, c'est-à-dire la petite quantité de ce gaz qui se trouve dans l'eau mélangée d'air. Aussi la quantité de l'hydrogène et du gaz ozône dus à l'électrolysation de l'azote ne peut pas modifier sensiblement le volume des substances gazeuses qui proviennent de la décomposition de l'eau. Ce n'est qu'en opérant sur des masses énormes d'eau renfermant de l'azote, qu'on pourrait voir se produire un changement dans le rapport de volume qui résulte de la décomposition de quantités peu considérables de ce même liquide.

Avant d'aller plus loin, je veux mentionner le fait que l'ozône à l'état gazeux est absorbé par une solution de potasse, mais un peu lentement. Sous ce rapport l'ozône se comporte donc aussi comme le chlore, et c'est ce qui fait comprendre pourquoi de l'eau qui contient de l'azote et dans laquelle on a fait dissoudre un peu de potasse, ne dégage point d'ozône quand on l'électrolyse. Si l'eau renfermait un peu de potasse libre avec une combinaison électrolytique de chlore, celle-ci ne pourrait point non plus dégager de chlore au pôle positif. Nous aurons plus tard à mentionner encore d'autres faits relatifs à l'action de l'ozône sur la solution aqueuse de potasse.

En ce qui concerne le dégagement d'ozône qui a lieu dans le voisinage des pointes par lesquelles s'échappe l'électricité ordinaire, on peut aisément s'en rendre compte au moyen des explications que j'ai déjà données.

C'est un fait bien connu des chimistes, qu'il y a un certain nombre de combinaisons gazeuses d'hydrogène qui se décomposent quand on les soumet à la double action de l'électricité et de l'oxigène. Si, par exemple, on fait passer à plusieurs reprises des étincelles électriques à travers un mélange d'oxigène et de gaz acide hydrochlorique, l'oxigène se combine avec l'hydrogène de l'autre gaz, et il se fait un dégagement de chlore. Or supposons que la constitution chimique de l'azote soit analogue à celle du gaz acide hydrochlorique, c'est-à-dire que l'azote soit composé d'ozône et d'hydrogène : on comprendra aisément comment il peut se dégager de l'ozône sur les pointes d'émission. En effet, pendant la neutralisation ou décharge électrique qui a lieu dans l'air atmosphérique, l'oxigène de ce dernier est déterminé à former de l'eau avec l'hydrogène de l'azote et à dégager ainsi l'ozône.

Admettons de nouveau que l'atmosphère soit formée d'oxigène et de gaz acide hydrochlorique. Qu'arriverait-il dans ce cas, si nous émettions de l'électricité, dans le milieu ambiant, par les pointes du conducteur d'une machine électrique ordinaire? Il se développerait sur ces pointes une odeur particulière, celle du chlore; exposés à l'action du pinceau électrique, un morceau de papier de lakmus blanchirait, une lame d'or prendrait la polarité négative, le ferrocyanure de potassium serait transformé en cyanide, l'iodure de potassium serait décomposé et dégagerait de l'iode. En un mot nous obtiendrions, dans une atmosphère composée comme il a été dit, toutes les réactions qui ont lieu dans l'air ordinaire sous les mêmes conditions. On conçoit de même aisément que la présence de certains gaz ou vapeurs dans notre atmosphère hypothétique, par exemple de gaz acide hydrosulfurique, hydrosélénique ou sul-

fureux devrait empêcher l'apparition du chlore libre vers les pointes d'émission, exactement comme ces mêmes gaz rendent impossible le développement de l'ozône dans l'air atmosphérique ordinaire. Cette analogie, que présentent jusque dans les plus petits détails les phénomènes qui se passent dans deux atmosphères composées, l'une d'oxigène et de gaz acide hydrochlorique, l'autre d'oxigène et d'azote, rend déjà très-vraisemblable, si elle n'établit pas avec une entière certitude, l'hypothèse que l'azote est formé d'ozône et d'hydrogène. J'ai pu, en effet, à l'aide de cette supposition, prévoir tous les effets chimiques et voltaïques que produit le pinceau électrique.

Ainsi que je l'ai déjà dit, tous ceux qui s'occupent beaucoup des phénomènes électriques ordinaires, auront remarqué dans leurs expériences, que la force de l'odeur qui se développe sur les pointes d'émission varie aussi d'une manière étonnante, d'un moment à l'autre, quand même la force de l'émission ne varie pas. Les expériences qui ont été décrites plus haut rendent très-vraisemblable que cette variation tient à la présence dans l'air de certains gaz ou vapeurs qui neutralisent l'ozône. Comme il ne se dégage jamais à la fois qu'une très-petite quantité d'ozône sur une pointe d'émission électrique, il suffit que l'atmosphère renferme ces gaz en proportions homœopathiques, dirais-je, pour empêcher l'ozône de devenir libre. Il résulterait de là que l'air atmosphérique serait d'autant plus pur que le dégagement d'ozône sur une pointe d'émission serait plus considérable, toutes les circonstances étant d'ailleurs les mêmes. L'idée de faire servir la force de l'odeur électrique qui se développe sur une pointe, à déterminer le degré de pureté de notre atmosphère, me paraît mériter une grande attention ; car ce procédé permettrait de reconnaître dans l'air la présence de certaines substances étrangères, que nul autre moyen ne peut y faire découvrir, et nos méthodes eudiométriques ordinaires, moins encore qu'aucun autre. Comment pourrions-nous par exemple, à l'aide de ces méthodes, découvrir la présence d'un corps qui n'entre-

rait que pour un cent millième dans l'atmosphère. Nous savons, à n'en pas douter, que celle-ci contient un grand nombre de gaz et de vapeurs de nature très-diverse ; mais avec les réactifs que nous connaissons, nous ne pouvons démontrer la présence que d'un petit nombre de ces substances. Sauf l'azote, l'oxigène, la vapeur d'eau et l'acide carbonique, peu d'autres nous sont connues. Cependant l'importance et l'étendue du rôle que l'atmosphère joue dans l'économie de la nature, ainsi que l'influence sensible qu'exerce souvent sur l'organisme animal et végétal la présence de certaines substances en quantités peu considérables, doit faire vivement désirer qu'on puisse parvenir à connaître plus exactement la composition de l'air. Mais pour cela il est de toute nécessité que la science nous fournisse des moyens d'analyse infiniment plus délicats que ne le sont ceux dont nous faisons encore usage.

Si nous arrivons, par exemple, à démontrer dans l'air, avec certitude, la présence même de millionièmes de certaines substances, je suis persuadé que cette rigueur d'analyse jettera bien du jour sur un grand nombre de phénomènes relatifs à la vie organique, particulièrement sur certains phénomènes pathologiques, et que nous obtiendrons des renseignements inattendus sur bien des points qui sont encore enveloppés de la plus grande obscurité.

Avant de quitter ce sujet, je dois ajouter quelques observations qui s'y rapportent, et qui auraient dû trouver place plus haut.

Ce qui fait voir avec évidence que la formation du principe odorant qui se développe sur les pointes d'émission électrique, est complétement indépendante de la nature chimique de ces pointes, c'est l'identité qu'on remarque dans l'odeur même. Je me suis d'ailleurs bien convaincu, par des expériences, que le pinceau électrique produit toujours les mêmes effets chimiques et voltaïques, quelle que soit la substance d'où il sort,

que ce soit de l'or, du platine, du cuivre, du plomb, du charbon, du bois, ou de tout autre corps conducteur; que par conséquent toujours il bleuit mon papier d'épreuve, détruit les couleurs végétales, transforme en cyanide le ferrocyanure de potassium, donne la polarité négative aux lames d'or ou de platine, etc. Ce fait permet de conclure avec assurance que la substance même des pointes n'entre pour rien dans la production de l'ozône, et que ce singulier corps provient de l'air atmosphérique.

Je crois devoir répéter une seconde fois, à cette occasion, qu'il se développe de l'ozône sur les pointes d'émission, soit lorsque l'électricité qui en sort est positive, soit lorsqu'elle est négative.

Examinons maintenant la production de l'ozône par voie chimique; c'est celle qui doit nous offrir le plus d'intérêt.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, il ne se dégage point d'ozône quand on met en contact de l'oxigène pur et du phosphore à la température ordinaire; nous savons d'ailleurs que, dans ces circonstances, le phosphore ne s'oxide pas, et qu'il ne donne point de lueur si on le met dans l'obscurité. Plongé dans de l'azote pur, ce corps ne subit non plus aucune modification; il ne paraît pas y avoir d'action réciproque entre ces deux corps, et par conséquent il semble aussi que l'azote reste intact; cependant ce point exige des expériences plus exactes et plus nombreuses.

Mais c'est un fait connu de toute ancienneté, et dont chaque chimiste a fait l'observation, que, dans un mélange d'oxigène et d'azote, c'est-à-dire dans l'air atmosphérique, le phosphore donne une vive lueur même à la température ordinaire, et s'oxide assez rapidement, en formant un mélange d'acide phosphoreux et d'acide phosphorique. Or c'est dans les mêmes circonstances que notre ozône se montre, et la production de ce corps, d'après mes observations et mes expériences, est si intimement liée à la lueur du phosphore, ainsi qu'à sa transformation en

acide phosphatique, que toutes les circonstances qui empêchent la production de ces deux phénomènes, empêchent aussi la formation de l'ozône, et cela sans aucune exception. La simultanéité de ces phénomènes autorise donc à conclure qu'il existe entre eux une relation de cause à effet.

S'il faut maintenant regarder comme démontré que le principe odorant qui apparaît lors de l'électrolysation de l'eau, mélangée d'azote ou d'air atmosphérique, est identique avec la substance qui se dégage vers les pointes d'émission électrique; si, de plus, on ne peut plus avoir le moindre doute sur l'identité de ces deux principes avec celui qui est développé lorsque le phosphore exerce son action sur l'air atmosphérique; on ne peut pas non plus admettre, en aucune façon, que notre ozône chimique soit une combinaison de phosphore d'une espèce quelconque. En effet, d'où pourrait-il venir du phosphore dans l'air atmosphérique, dans l'eau chimiquement pure? Il n'y en a donc pas non plus dans l'ozône, et le phosphore n'entre pour rien directement dans la formation de cette substance odorante. Nous avons déjà vu que celle-ci ne peut pas être une combinaison d'azote et d'oxigène, qui serait produite par l'intermédiaire du phosphore. Il est encore plus invraisemblable que l'oxigène soit une substance composée, et qu'il se décompose dans le contact avec le phosphore, car alors pourquoi faudrait-il la présence de l'azote pour opérer cette décomposition?

Le caractère d'indifférence chimique de ce dernier corps, ainsi que quelques autres propriétés qu'il possède, ont depuis longtemps fait conjecturer que l'azote pourrait ne pas être un corps élémentaire, mais bien un corps composé; et l'on sait que Berzélius a avancé l'hypothèse que l'azote est composé d'un radical particulier qu'il a nommé nitricum, et d'oxigène. Mais personne n'a réussi à le décomposer et à isoler ce nitricum hypothétique. On concevra maintenant l'apparition de l'ozône pendant que le phosphore agit sur l'air atmosphérique, si l'on

admet que l'azote soit une substance composée, formée d'ozône et d'hydrogène. On reconnaît aisément aussi, grâce à cette hypothèse, pourquoi dans de l'oxigène azoté la lueur du phosphore et sa transformation en acide phosphatique se font assez rapidement à la température ordinaire, tandis que, dans les mêmes circonstances, de l'oxigène pur et du phosphore sont indifférents l'un à l'égard de l'autre sous le rapport chimique. Il résulte de ce que nous avons vu plus haut, que l'ozône peut se combiner avec le phosphore à la température ordinaire, c'est-à-dire qu'il disparaît quand il est mis en contact avec ce corps.

Ce fait permet de conclure que l'ozône, ainsi que le chlore, a pour le phosphore un assez haut degré d'affinité chimique. Mais, seul, le phosphore ne peut pas décomposer la combinaison d'ozône et d'hydrogène ; pour que cette décomposition ait lieu, il faut associer au phosphore un autre corps qui ait une forte tendance à s'unir à l'hydrogène de l'azote, et l'oxigène remplit cette condition. Lors donc que l'azote est mis en contact d'un côté avec du phosphore, de l'autre avec de l'oxigène, il se trouve chimiquement comme pris entre deux feux, et cela détermine sa décomposition. Par suite de l'attraction chimique du phosphore pour l'ozône, et de l'oxigène pour l'hydrogène, les deux parties constituantes de l'azote se séparent : l'hydrogène forme de l'eau avec l'oxigène de l'air, tandis que l'ozône devient en partie libre et en partie se mélange à l'air qui environne le phosphore. Comme d'ailleurs le milieu dans lequel ces phénomènes se passent renferme aussi de l'eau, celle-ci réagit sur la combinaison de phosphore et d'ozône, et il en résulte de l'acide phosphorique et la combinaison d'hydrogène et d'ozône, exactement de la même manière que de l'eau avec une combinaison de chlore et de phosphore donne lieu à de l'acide phosphorique et à de l'acide hydrochlorique.

Mais, dans cette dernière réaction, une partie de l'oxigène de l'air se combine aussi directement avec une partie du phosphore, et formé de l'acide phosphoreux, ce qui explique com-

ment du phosphore renfermé en quantité suffisante dans un vase avec de l'air atmosphérique, absorbe tout l'oxigène et ne laisse que de l'azote libre. Dans ma manière de considérer l'action du phosphore sur l'air, l'azote ou du moins une partie de l'azote qui reste libre dans ces circonstances ne provient pas seulement de l'air, mais il doit être regardé comme un produit de la réaction chimique qui a eu lieu entre la combinaison de phosphore et d'ozône et l'eau.

Le fait de la formation en proportions toujours constantes d'acide phosphoreux et d'acide phosphorique pendant la lente combustion du phosphore dans un mélange d'oxigène et d'azote, ce fait a jusqu'à présent, ce me semble, attiré assez peu l'attention, et pourtant il ne me paraît pas avoir une médiocre importance au point de vue théorique. On peut demander, en effet, pourquoi dans le cas en question, il ne se forme pas uniquement de l'acide phosphorique ou de l'acide phosphoreux, si l'un et l'autre sont dus à l'oxidation directe du phosphore. Pourquoi la quantité d'acide phosphoreux présente-t-elle toujours un rapport déterminé et invariable avec celle de l'acide phosphorique? Quelle peut être la cause qui fait combiner immédiatement et simultanément une partie du phosphore avec trois parties en poids d'oxigène, et l'autre avec cinq parties en poids de ce même gaz? A mon sens, les deux combinaisons de phosphore qui se trouvent dans l'acide phosphatique doivent nécessairement se produire d'une manière différente : la cause de l'une doit différer essentiellement de la cause de l'autre.

Or, dans l'état actuel de la science, les chimistes doivent attribuer la formation des deux acides en question à une oxidation directe du phosphore, et chercher dans l'atmosphère l'oxigène nécessaire à cette opération.

Il me paraît impossible de faire aucune réponse satisfaisante aux questions que j'ai posées, si on part de l'idée que, lors de l'oxidation du phosphore dans l'air, l'oxigène seul joue un rôle actif. Mais si on suppose que l'azote est formé d'hydrogène

et d'ozône, que, dans les circonstances qui ont été indiquées, cette combinaison se décompose, et qu'il se forme ainsi une combinaison de phosphore et d'ozône, on peut concevoir alors la formation de l'acide phosphatique, et l'on peut résoudre d'une manière satisfaisante les problèmes chimiques dont il a été question plus haut. Il résulte de mes observations que le phosphore exposé à l'air donne une lueur d'autant plus vive que cet air renferme une plus forte proportion d'ozône. Si, par exemple, on a un flacon rempli d'air, et qu'on commence par désoxigéner cet air avec du phosphore, de façon que lorsqu'on y plonge un petit copeau enflammé, il s'y éteigne aussitôt, cas dans lequel l'air est riche en ozône ; si, après cela, on introduit dans le flacon un petit morceau de phosphore, et qu'on mette le tout dans l'obscurité, le phosphore commence aussitôt à répandre une lueur vive, supérieure de beaucoup à celle qu'il donne dans l'air atmosphérique ; mais il s'oxide rapidement, et l'odeur d'ozône, si le vase est hermétiquement fermé, disparaîtra en même temps que cesse aussi la lueur du phosphore.

Ces faits donnent tout lieu de conjecturer, ou autorisent à conclure que la lueur qui émane du phosphore plongé dans un mélange d'oxigène et d'azote, provient moins de l'oxidation directe de ce corps que de son ozonisation. Une autre circonstance me paraît aussi mériter l'attention, c'est la ressemblance que présente la lueur du phosphore dans de l'air qui renferme de l'ozône, avec cette même lueur dans une atmosphère de chlore. En outre, tous ces faits me paraissent favorables à l'hypothèse qui attribue à la décomposition de la combinaison de phosphore et d'ozône par l'eau, la formation de l'acide phosphorique pendant la combustion lente du phosphore dans l'air ordinaire.

Ces éclaircissements étant donnés, il est à peine nécessaire de montrer comment le phénomène depuis si longtemps connu, mais non encore dévoilé, de la nécessité qu'il y ait de l'azote

mélangé avec de l'oxigène, pour que le phosphore donne une lueur dans ce dernier gaz, trouve une explication dans la composition de l'azote même. A une température de quelques degrés seulement au-dessus de zéro, la double action du phosphore et de l'oxigène sur l'azote commence à s'exercer. Une partie de l'ozône renfermé dans l'azote se combine avec le phosphore, et cette action chimique a précisément pour effet de dégager de la lumière et de la chaleur.

Comme d'ailleurs une partie de l'oxigène de l'atmosphère se combine en même temps avec le phosphore, il est vraisemblable que c'est en partie à cette oxidation directe qu'est dû le dégagement de lumière. Cette conjecture s'appuie bien sur le fait que le phosphore donne un commencement de lueur même dans l'oxigène pur, à une température de 27°; cependant, si je ne me trompe, il ne se forme alors que de l'acide phosphoreux.

Je ne déciderai pas encore si l'ozonisation du phosphore dans l'air atmosphérique est déterminée par l'oxidation de cette substance, ou si cette oxidation est une conséquence du premier phénomène. Toutefois le fait que l'oxidation directe du phosphore dans l'oxigène pur ne commence qu'à une température de 27° au-dessus de zéro, tandis que, s'il y a de l'azote avec l'oxigène, la combinaison de ce dernier avec le phosphore a lieu à quelques degrés au-dessus de zéro, ce fait, dis-je, paraît démontrer que c'est à la présence de l'azote qu'il faut attribuer l'oxidation directe du phosphore, qui a lieu dans l'air atmosphérique à la température ordinaire.

Il est aussi dans les choses possibles que le phosphore exerce ici quelque influence encore inconnue, par exemple une action catalytique, quoique l'on puisse, selon moi, expliquer par le jeu des forces chimiques ordinaires, tous les phénomènes que le phosphore détermine dans un mélange d'oxigène et d'azote, à l'exception toutefois de celui dans lequel une partie de l'ozône séparé de l'azote passe à l'état libre. Si, en effet, la décomposition de la combinaison d'hydrogène et

d'ozône est produite d'un côté par l'affinité chimique du phosphore pour l'ozône, de l'autre par l'affinité de l'oxigène pour l'hydrogène de l'azote, on peut se demander comment il se fait que tout l'ozône ne se combine pas avec le phosphore, pourquoi une partie de ce corps passe à l'état libre. J'avoue sans détour que je ne sais donner sur ces questions aucune réponse qui me satisfasse, d'où je conjecture que dans la formation de l'ozône par voie chimique il entre en jeu des actions dont nous n'avons pas à présent une idée bien claire.

On a assez récemment émis l'idée que, dans divers cas, sinon dans un grand nombre, l'action chimique qui a lieu entre certaines substances peut être transportée ou propagée par d'autres corps qui ne sont pas en contact immédiat avec ceux entre lesquels cette action s'exerçait d'abord. Se passerait-il quelque chose de semblable dans la réaction qui a lieu entre l'air atmosphérique et le phosphore? L'oxidation directe du phosphore déterminerait-elle une partie de l'oxigène de l'air à agir sur l'hydrogène de l'azote, et à opérer la décomposition de ce dernier? Est-ce bien, en outre, à cette action qu'il faut attribuer l'ozône libre qui se dégage lors du contact entre le phosphore et l'air atmosphérique? — Je m'arrête, car je n'ose formuler aucune opinion sur ces divers points.

J'ai dit plus haut que, dans l'action de l'atmosphère sur le phosphore, il se dégage aussi un corps électro-positif, outre l'ozône, qui est électro-négatif. J'ai cherché à démontrer que ce corps positif est de la vapeur de phosphore. Or, comment deux substances, qui ont des propriétés si opposées, peuvent-elles subsister l'une à côté de l'autre sans former une combinaison chimique? Il est d'autant plus urgent de faire cette question, que l'on a pu voir, d'après les faits mentionnés plus haut, avec quelle facilité le phosphore se combine directement avec l'ozône, même à la température ordinaire. Le phosphore à l'état de vapeur aurait-il moins de tendance à se combiner avec l'ozône que lorsqu'il est à l'état solide? Une circonstance

curieuse et qui mérite d'attirer l'attention, c'est que la vapeur de phosphore peut rester assez longtemps sans s'oxider, non seulement dans l'oxigène pur, mais encore dans l'air ordinaire, tandis qu'il semble que l'oxigène se combine de préférence avec le phosphore à l'état solide? Y aurait-il, entre le premier et le second des deux états du phosphore une relation allotropique déterminée? En d'autres termes, l'état gazeux de ce corps exercerait-il sur ses rapports d'affinité une modification essentielle? Ainsi que l'oxigène, l'ozône se combinerait-il moins aisément avec le phosphore à l'état de vapeur qu'avec le phosphore à l'état solide? Il est aisé de voir qu'on ne peut résoudre ces questions d'une manière satisfaisante, avant d'avoir fait des recherches plus étendues et plus exactes sur le sujet qui nous occupe, c'est-à-dire sur la manière dont l'ozône se comporte à l'égard du phosphore sous le rapport chimique.

C'est peut-être ici le lieu de parler des faits relatifs à l'influence que certaines substances gazeuses ou à l'état de vapeurs exercent sur le rôle que joue le phosphore dans l'air atmosphérique.

Il suffit de mélanger avec l'air atmosphérique de faibles proportions de vapeur d'éther, de vapeur d'alcool ou de gaz oléfiant, pour empêcher complétement le dégagement de l'ozône. Or les belles recherches de Graham ont fait voir que ce sont précisément aussi les mêmes substances qui font cesser la lueur du phosphore ou sa lente combustion dans l'air. C'est une nouvelle preuve de la liaison intime qui existe entre la formation de l'ozône et l'oxigénation ou la lueur du phosphore. La même cause qui arrête l'un de ces phénomèmes, suspend aussi l'autre.

Mais de quelle manière la présence de l'éther, de l'alcool sous forme de vapeur ou du gaz oléfiant empêche-t-elle ces phénomènes d'avoir lieu? — Je ne puis répondre que par des conjectures. Les trois corps que je viens de mentionner renferment tous de l'hydrogène, et ce gaz n'y est pas dans un état

de combinaison aussi prononcé qu'il l'est dans l'azote ; c'est ce qu'on peut admettre d'après la manière dont l'oxigène se comporte avec l'éther, l'alcool et le gaz oléfiant. Si donc nous avons une atmosphère composée, par exemple, de vapeur d'éther, d'azote et d'oxigène, et que nous la mettions en contact avec du phosphore, il est aisé de voir que, dans ces circonstances, l'action chimique qui s'exercera sur l'azote sera moins énergique qu'elle ne le serait si elle était exercée par l'éther même.

En effet, l'oxigène de l'air est, pour ainsi dire, occupé par l'hydrogène de l'éther, ce qui l'empêche d'exercer tout son pouvoir d'affinité chimique sur l'hydrogène de l'azote. On comprend aisément aussi que cette même circonstance rende impossible l'oxidation directe du phosphore. Mais si cette oxidation joue un rôle important dans la séparation de l'ozône même, et si le phosphore ne peut à lui seul décomposer la combinaison d'hydrogène et d'ozône, on peut concevoir comment la présence de vapeurs ou de gaz hydrogénés dans l'air atmosphérique peut empêcher dans ce dernier la lueur du phosphore, son ozonisation et son oxidation, ainsi que l'apparition de l'ozône libre. Cette hypothèse, toute imparfaite qu'elle est peut-être en elle-même, me paraît en tout cas plus satisfaisante que la vague supposition qui attribue l'influence de l'éther et des autres substances en question à une action de contact, à une action de présence, etc.—Le fait qu'un mélange d'oxigène et d'azote, auquel on ajoute une faible proportion d'acide sulfureux ou hydrosulfurique, ne dégage point d'ozône quand on y plonge du phosphore, ce fait peut s'expliquer aisément. D'abord, quant à l'obstacle dû à l'influence de l'acide sulfureux, nous avons vu plus haut que, si on introduit cet acide dans de l'air atmosphérique humide qui renferme de l'ozône libre, celui-ci disparaît aussitôt. Mais si le gaz acide sulfureux détermine cet ozône à former de nouveau dans ces circonstances une combinaison chimique, comment de l'ozône combiné

pourrait-il passer à l'état libre dans de l'air atmosphérique qui renferme du gaz acide sulfureux? La même observation s'applique à l'obstacle qui provient de l'action exercée sur la production de l'ozône par la présence du gaz acide hydrosulfurique dans de l'air atmosphérique.

Mais, demande-t-on, le pouvoir qu'a l'acide sulfureux d'empêcher le dégagement de l'ozône, tiendrait-il uniquement à ce que, au moment où ce dernier se sépare de l'hydrogène, il décompose l'eau conjointement avec l'acide, et qu'il se forme ainsi de l'acide sulfurique et une combinaison d'hydrogène et d'ozône? Si c'est là, en effet, l'unique cause de l'absence d'ozône libre, l'acide phosphatique doit alors renfermer aussi de l'acide sulfurique; mais je n'ai pas encore fait cet examen. Cependant je suis disposé à croire que dans le mélange d'air atmosphérique et d'acide sulfureux le composé d'ozône et d'hydrogène n'est point décomposé, qu'il ne s'en forme point non plus, et cela par la raison toute simple que dans un air de cette nature le phosphore ne donne aucune lueur et que, par conséquent, il ne se fait pas non plus d'ozonisation. Il est vraisemblable que l'acide sulfureux empêche le dégagement de l'ozône par l'effet de l'affinité chimique qu'il exerce sur l'oxigène de l'air atmosphérique. Il en résulte que l'action de ce dernier gaz sur l'hydrogène de la combinaison d'hydrogène et d'ozône, ainsi que sur le phosphore, est affaiblie, et que par cela même la décomposition de l'azote est rendue impossible. C'est, sans doute, aussi de cette manière que le gaz acide hydrosulfurique met obstacle au dégagement de l'ozône. En comparant entre elles les substances gazeuses chez lesquelles on a constaté la propriété d'empêcher la lumière du phosphore dans de l'air atmosphérique, ainsi que le dégagement de l'ozône libre, nous trouvons que ce sont toutes des substances avides, en certains cas, d'oxigène, quelles que soient d'ailleurs les différences qu'elles présentent dans leur nature chimique. Il me paraît résulter de là que cette influence dont il est question leur vient unique-

ment de leur facilité à s'oxider, c'est-à-dire qu'elles affaiblissent essentiellement le pouvoir d'affinité chimique de l'oxigène soit pour le phosphore soit pour l'hydrogène de la combinaison d'hydrogène et d'ozône.

Si l'hydrogène n'exerce aucune influence semblable à celle qu'exercent ces substances, cela peut tenir à ce que, comme l'expérience le démontre, ce gaz a dans cet état moins de tendance à se combiner avec l'oxigène que lorsqu'il fait partie de certaines combinaisons. (Voyez sur ce sujet, mes *Contributions à la chimie physique.*)

Il est vrai que, jusqu'à présent, l'on s'est peu occupé de ces actions virtuelles, quoiqu'elles jouent un rôle assez important dans les phénomènes chimiques, et qu'il y ait peut-être une liaison assez intime entre elles et les phénomènes auxquels on a donné le nom d'effets de contact ou d'effets catalytiques. C'est un champ d'étude qui promet à celui qui voudra le cultiver une riche moisson de science, et qui pourra conduire à des résultats de la plus grande importance sous le rapport théorique.

Observations sur un procédé particulier pour dégager l'ozône par voie chimique.

Nous avons vu, dans ce qui précède, que le dégagement de l'ozône vers les pointes par lesquelles se dégage l'électricité au pôle positif d'une pile voltaïque, et par l'effet de l'action de l'air atmosphérique sur le phosphore, peut s'expliquer d'une manière satisfaisante par l'hypothèse que l'azote est un corps composé, et qu'il est formé d'ozône et d'hydrogène. Si l'azote est bien réellement composé de la sorte, et que l'expérience démontre, dans la manière dont il se comporte, de nombreux rapports avec l'acide hydrochlorique, on peut conjecturer aussi que cette combinaison d'ozône et d'hydrogène se décompose dans des circonstances où l'acide en question est lui-même décomposé.

Si l'on met de l'acide hydrochlorique en contact avec du peroxide de manganèse et une solution aqueuse d'acide sulfurique, en exposant ce mélange à une température élevée, tout le chlore qui se trouve à l'état de combinaison dans le premier acide, passera, comme on sait, à l'état libre, et en général le chlore se dégage de l'acide hydrochlorique quand on fait agir de l'oxigène naissant sur cette combinaison. N'en serait-il pas exactement de même pour la combinaison d'hydrogène et d'ozône? Les faits suivants tendent à résoudre cette question :—Si l'on met dans un matras à long cou, du peroxide de manganèse ou de plomb parfaitement dépouillé de chlore, qu'on y verse aussitôt de l'eau et de l'acide sulfurique l'un et l'autre parfaitement purs, qu'on fasse chauffer le tout jusqu'à l'ébullition, et qu'on tienne exposée aux vapeurs qui s'échappent de la fiole une bande de papier humectée d'un mélange d'amidon et d'iodure de potassium, ce papier prend une couleur bleue prononcée. Mais cette réaction cesse entièrement quand l'ébullition du mélange dure quelques minutes. Si on laisse refroidir le tout, qu'on laisse l'air atmosphérique pénétrer librement dans le vase, qu'on agite ensuite celui-ci, et qu'on chauffe une seconde fois jusqu'à l'ébullition, le papier d'épreuve bleuit de nouveau sous l'action des vapeurs du vase. J'ai répété au moins douze fois cette expérience avec le même mélange d'acide sulfurique, d'eau et de peroxide, et toujours j'ai obtenu le même résultat.

Si, après avoir fait bouillir le mélange assez longtemps pour que la vapeur qu'il dégage ne puisse plus bleuir le papier d'épreuve, on y injecte de l'air au moyen d'un tube de verre qui plonge dans le vase, la vapeur qui se dégage reprend la faculté de bleuir l'amidon mêlé à de l'iodure de potassium, ou de blanchir peu à peu du papier de lakmus.

Ces réactions démontrent que, dans ces circonstances, il se dégage un corps qui décompose l'iodure de potassium et détruit les couleurs végétales. Quel est donc ce corps? Ce ne

peut être du chlore ou du brôme, qui ne se retrouvent ni dans le peroxide de plomb, ni dans le peroxide de manganèse pur, ni dans l'acide sulfurique, ni dans l'eau chimiquement pure. Or, à l'exception de ces substances, il ne s'en trouve dans notre expérience aucune autre que l'air atmosphérique, et l'air ne renferme point de combinaison de chlore. Mais si nous rapprochons les circonstances dans lesquelles se dégage l'ozône électrique, voltaïque ou chimique, de celles dans lesquelles nous obtenons un radical dans la dernière expérience, nous aurons de la peine à ne pas reconnaître l'ozône dans ce radical, et à ne pas en voir la source dans l'azote de l'air atmosphérique.

L'eau mélangée avec de l'acide sulfurique renferme de l'air, et par conséquent aussi de l'azote en solution, et des traces de cette dernière substance restent aussi adhérentes au peroxide de manganèse ou au peroxide de plomb.

Si donc on chauffe le mélange jusqu'à ce que l'acide sulfurique commence à séparer de l'oxigène des peroxides, ce gaz agira sur la combinaison d'hydrogène et d'ozône exactement comme il le ferait sur de l'acide hydrochlorique. L'oxigène à l'état naissant se combine avec l'hydrogène de l'azote, et ainsi l'ozône devient libre. S'il ne s'en dégage que des traces, cela tient à l'extrême petitesse de la proportion d'azote renfermée dans le mélange. Sans l'excessive délicatesse du papier d'épreuve comme réactif de l'ozône, nous ne serions pas en état de démontrer l'apparition de ce corps dans les circonstances en question. En effet, son odeur est un peu masquée; cependant, avec un fin odorat, on distingue quelque chose de particulier dans la vapeur qui s'échappe du mélange en ébullition.

Si nous supposons de nouveau que l'air atmosphérique renferme, au lieu de la combinaison d'hydrogène et d'ozône, de l'acide hydrochlorique, et que ce dernier ne soit pas plus soluble dans l'eau que l'azote, il est évident qu'alors nous n'obtiendrons dans notre expérience que des traces de chlore libre, et qu'en traitant le mélange avec de l'eau, de l'acide sulfurique

et du peroxide de manganèse, nous verrons se produire des résultats exactement semblables à ceux auxquels nous arrivons dans ces circonstances avec l'air atmosphérique.

Mais si la combinaison d'hydrogène et d'ozône se dissolvait dans l'eau en aussi grande proportion que l'acide hydrochlorique, nous devrions, en traitant avec du peroxide de manganèse et de l'acide sulfurique une solution concentrée d'azote, faire dégager de l'ozône en aussi grande abondance qu'il se dégage de chlore quand on traite de la même manière une solution concentrée d'acide hydrochlorique.

Si les conséquences que nous avons déduites de ces derniers faits sont fondées, on voit que la décomposition de l'azote ou le dégagement de l'ozône de la combinaison d'hydrogène et d'ozône, est bien facile à effectuer, et que si l'on doit s'étonner d'une chose, c'est qu'on ne l'ait pas découverte beaucoup plus tôt. Plusieurs chimistes, tels que Vogel, Kane et d'autres, ont bien remarqué que, lorsqu'on fait agir de l'acide sulfurique sur du peroxide de manganèse, il se dégage des traces d'un radical; mais ils ont cru que c'était du chlore, et ils n'ont pas été plus loin. Vogel remarqua que si, avec du peroxide de manganèse pur, on emploie dans cette expérience de l'acide sulfurique de Saxe, il ne se dégage point de chlore, tandis qu'il s'en dégage si on se sert d'acide sulfurique anglais; et il en a conclu avec Kane que le premier de ces acides renferme de l'acide hydrochlorique. Mais l'absence de chlore proprement dit, dans cet acide, pourrait provenir d'une tout autre cause. On sait que l'acide sulfurique de Saxe renferme de l'acide sulfureux, tandis que dans celui d'Angleterre il ne s'en trouve point. Or, la présence de l'acide sulfureux empêche, ainsi que nous l'avons vu, le dégagement de l'ozône; et comme, dans les circonstances en question, l'on ne peut obtenir que des traces de ce dernier, on conçoit sans peine qu'il suffit de petites quantités d'acide sulfureux dans l'acide sulfurique de Saxe pour que celui-ci ne fasse point dégager d'ozône quand il agit sur du peroxide de manganèse ou sur du peroxide de plomb.

Ce qui confirme cette double hypothèse, c'est que de l'acide sulfurique de Saxe, soumis à l'ébullition, se comporte exactement comme celui d'Angleterre. Or, l'ébullition ne peut pas amener de l'acide hydrochlorique dans l'acide sulfurique en question; elle ne peut que chasser l'acide sulfurique anhydre et l'acide sulfureux.

Si je dis que le principe qui se dégage quand on fait agir de l'acide sulfurique pur sur du peroxide de plomb ou sur du peroxide de manganèse, principe qui jouit en outre de la propriété de décomposer l'iodure de potassium et de détruire les couleurs végétales, ne peut pas être du chlore, c'est que les substances indiquées ne renferment pas de ce gaz, et aussi, que je puis appuyer mon assertion sur le fait suivant: une bande de papier humectée d'une solution de bromure de potassium, prend une couleur jaune prononcée quand on la plonge dans une atmosphère qui renferme du chlore, mais non dans de l'air qui contient de l'ozône.

Après avoir préparé du papier de la manière que j'ai indiquée, je l'ai plongé dans la vapeur qui se dégageait d'un mélange bouillant de peroxide de manganèse et d'acide sulfurique étendu d'eau. Aussi longtemps que j'ai fait durer l'expérience, jamais je n'ai pu apercevoir une altération quelconque dans la couleur de mon réactif; elle se maintient parfaitement intacte, tandis que, selon l'observation que j'ai déjà faite, le mélange d'amidon et d'iodure de potassium, placé dans les mêmes circonstances, prend une couleur bleue foncée.

Si je ne me trompe, un chimiste a fait l'observation que, si l'on fait agir à une température élevée du platine très-divisé sur une atmosphère composée de gaz oxigène et d'acide hydrochlorique, l'oxigène se combine avec l'hydrogène du gaz hydrochlorique, et que le chlore est mis en liberté.

Or, si l'azote est réellement formé d'hydrogène et d'ozône, et présente différentes analogies avec l'acide hydrochlorique, on peut présumer que, si l'on fait passer un mélange d'oxigène

et d'azote sur du noir de platine à une température élevée, il se comportera comme le ferait un mélange d'oxigène et d'acide hydrochlorique, c'est-à-dire qu'il se dégagera de l'ozône et qu'il y aura formation d'eau, pourvu toutefois que l'ozône ne se combine pas avec le platine.

Je n'ai pu jusqu'à présent, faute de temps et n'ayant pas de noir de platine, faire cette expérience; mais je remplirai cette lacune dès que j'en aurai le loisir. En cas de réussite, cette expérience offrirait bien le mode le plus élégant, sinon peut-être le plus pratique, de préparer ce singulier corps.

Dans plus d'un cas, le platine très-divisé exerce précisément la même action que l'électricité; l'oxidation de l'hydrogène provoquée par ce métal nous en offre l'exemple le plus connu et le plus frappant.

Il n'y a nul doute que de nouveaux travaux sur l'ozône ne fassent découvrir de nouveaux moyens de préparer ce corps; il se pourrait aussi, en particulier, que certaines combinaisons d'azote servissent dans ce but.

On sait que les oxides métalliques se transforment en chlorures métalliques quand on les traite avec de l'acide hydrochlorique. Or, si l'azote était une combinaison d'ozône et d'hydrogène, et s'il se comportait avec les oxides métalliques comme l'acide hydrochlorique, il pourrait bien se faire que la potasse se transformât en ozonure de potassium, quand on l'amènerait à l'état de fusion, et qu'on ferait passer pendant assez longtemps de l'azote pur au-dessus ou mieux encore au travers de la masse. Il faudrait peut-être exclure l'oxigène de cette expérience, puisque, par des raisons qu'il est aisé de comprendre, il pourrait empêcher l'azote d'agir sur l'oxide de potassium de la manière que nous avons supposée. Mais maintenant qu'on connaît l'existence de l'ozône et sa relation avec l'azote, il importe aussi d'étudier de plus près la réaction de l'air atmosphérique sur la potasse à l'état de fusion; car il est possible qu'il se forme en même

temps des combinaisons chimiques dont nous ne pouvons conjecturer la production dans l'état actuel de nos connaissances chimiques.

Essai d'une préparation de l'ozône.

Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, l'on ne peut recourir au procédé électrique ou voltaïque pour préparer ou isoler l'ozône, car les quantités qu'on en obtient ainsi sont trop petites pour pouvoir être soumises à un traitement chimique. Si l'on veut obtenir des quantités sensibles de ce radical à l'état pur, il faut absolument le séparer par des moyens chimiques de sa combinaison avec l'hydrogène. Or, nous avons vu que l'on peut opérer cette séparation de diverses manières, soit en mettant en contact de l'azote avec de l'oxigène naissant, soit en faisant agir du phosphore sur un mélange d'azote et d'oxigène à la température ordinaire. Quant à la première de ces méthodes, la quantité d'ozône libre qu'elle peut fournir est si petite, d'après les motifs que nous avons vus plus haut, que nous ne pouvons pas mieux en faire usage que de celle à laquelle nous arrivons par le procédé électrique ou voltaïque. Il nous faut donc recourir à la seconde méthode chimique pour résoudre notre problème, c'est-à-dire que nous devons nous servir du phosphore pour séparer l'ozône de l'azote, recombiner l'ozône libre, puis le séparer de sa nouvelle combinaison par des moyens convenables.

Les faits qui précèdent font voir qu'il y a un grand nombre de substances qui absorbent promptement l'ozône, même à la température ordinaire; tels sont les métaux aisément oxidables, les solutions de sulfate de fer, de chlorure d'étain et de fer. Le mercure même peut se combiner directement avec notre radical, mais avec un peu moins de promptitude; la potasse dissoute dans l'eau l'absorbe également.

J'ai pris plusieurs de ces substances dans le but d'obtenir

une combinaison dont on pût aisément dégager le nouveau radical; mais j'ai rencontré des obstacles difficiles à surmonter. Cela m'a engagé à me servir de préférence de l'iodure de potassium pour l'opération que j'avais en vue, et l'on se rappelle que j'ai fait voir plus haut que ce corps est décomposé par l'ozône avec dégagement d'iode, aussi aisément que par le chlore.

J'ai placé dix ballons d'environ trente litres chacun sur un plan légèrement incliné, de façon que la faible quantité d'eau que le lavage y laisserait pût se réunir dans la partie la plus basse du fond de ces vases. J'ai plongé dans chaque ballon un petit morceau de phosphore ordinaire d'un pouce de long, qu'on avait fait sécher en le frottant légèrement avec du papier joseph, et j'ai eu soin que ce phosphore se trouvât placé au point le plus élevé du fond des vases, c'est-à-dire de manière à ne pas être en contact avec l'eau. Les flacons étaient fermés avec des bouchons de liége, mais ne l'étaient pas assez pour intercepter complétement l'accès de l'air extérieur. Dans cet état de choses, si l'on veut que l'ozône se dégage, il faut absolument que la température de la chambre ou du laboratoire où se trouvent les ballons, ne soit pas trop basse, car alors il ne se dégagerait point d'ozône, et l'air ambiant ne renfermerait que de la vapeur de phosphore ou seulement des traces d'ozône libre, même après le plus long séjour au-dessus du phosphore. Or, il résulte des expériences que j'ai faites jusqu'à présent que la température la plus propre au dégagement de l'ozône est de 12° à 14°; et c'est aussi à celle-là que j'ai réussi à séparer ce corps de l'air atmosphérique. A une température un peu plus élevée, cette séparation se fait sans doute plus rapidement; mais alors il y a cet inconvénient que l'ozône accélère la combustion du phosphore, et par là fait souvent manquer l'opération. Lorsque les choses se passent ainsi, et que le flacon est bouché trop fortement, on voit, comme j'en ai fait plusieurs fois l'expérience, se déclarer des explosions dangereuses. Je conseille donc à ceux qui veulent préparer l'ozône à l'aide du

phosphore, d'opérer à une température de 15° au plus, et d'avoir soin que les flacons dont on se sert ne soient jamais fermés hermétiquement. Quand j'ai voulu négliger ces précautions, j'ai couru le danger d'être dangereusement blessé par des éclats de verre.

Quand le phosphore a séjourné ainsi pendant vingt-quatre heures environ dans de l'air atmosphérique, celui-ci est tellement chargé d'ozône, qu'il en a une odeur piquante, et alors on peut procéder à la séparation de ce corps.

D'abord on décante l'acide phosphatique réuni au fond du vase; on lave ensuite ce vase avec de l'eau distillée jusqu'à ce que, après ce lavage, cette eau ne rougisse plus le papier de lakmus, c'est-à-dire jusqu'à ce que le ballon ne renferme plus une trace d'acide phosphatique. On verse alors dans le vase une solution d'iodure de potassium, formée d'une partie de ce sel pour 15 parties d'eau distillée. Il suffit après cela d'agiter avec ce liquide, pendant quelques secondes seulement, l'air chargé d'ozône qui est renfermé dans le ballon, et ce liquide a perdu toute odeur d'ozône, son pouvoir de polarisation négative, sa vertu décolorante, etc.; en un mot, l'ozône est entièrement absorbé par l'iodure de potassium.

Ainsi qu'on peut le prévoir, et conformément à ce qui a été dit plus haut, il se dégage de l'iode dans ces circonstances, c'est-à-dire que la solution d'iodure de potassium prend une couleur jaune-brun; alors on verse ce liquide dans un second ballon, qu'on a lavé aussi avec de l'eau distillée et qui renferme de l'ozône, on agite de même jusqu'à ce que l'ozône ait disparu; puis on verse le liquide dans un troisième ballon, et ainsi de suite. Plus on prolonge cette opération, plus la solution d'iodure prend une teinte foncée, c'est-à-dire plus est grande la quantité d'iode qui se dégage.

Quand tous les ballons ont été ainsi dépouillés de l'ozône qu'ils contiennent, il faut les nettoyer pour procéder à un nouveau dégagement d'ozône. Cette opération ne se fait pas par

un simple lavage à l'eau. Par suite de la décomposition de l'iodure de potassium au moyen de l'ozône, il se fait un dégagement d'iode, ainsi que nous l'avons observé. Cet iode reste bien dissous dans le liquide, surtout pendant les premières opérations; mais une partie s'évapore et se mêle avec l'air du ballon, et en proportion d'autant plus grande que la solution d'iodure de potassium devient plus riche en iode libre. Mais il faut de nouveau chasser entièrement des ballons cette vapeur d'iode, dont la présence pourrait nuire au développement de l'ozône. Un lavage à l'eau enlèverait bien l'iode à la longue; mais on atteint plus vite ce but en introduisant une faible solution de potasse dans les ballons qui renferment de la vapeur d'iode; par ce moyen, l'on voit aussitôt disparaître les plus faibles traces de ce gaz. Il est bien entendu qu'il faut laver de nouveau les vases à l'eau pure, après les avoir agités avec une solution de potasse.

Ces ballons étant ainsi nettoyés, on y met de nouveau du phosphore, et l'on procède comme il a été dit. Peu à peu la solution d'iodure de potassium perd sa couleur, et quand on l'a suffisamment agitée avec de l'air qui renferme de l'ozône, elle finit par être tout à fait limpide, et ne renferme plus une trace d'iodure de potassium.

Afin de s'assurer que la solution ne renferme plus d'iode combiné, on la fait bouillir encore quelques minutes après qu'elle a perdu sa couleur, puis on la soumet aux réactifs connus de ce corps. Si elle ne renferme plus d'iode, on la filtre et on l'évapore.

C'est ici le lieu d'observer que le liquide obtenu par le moyen que j'ai indiqué est complétement neutre; car le papier de lakmus rougi ne le bleuit pas, et le papier bleu ne le rougit pas. En outre, cette solution a un goût extrêmement faible, plutôt âpre et un peu amer, que salé. A peine l'évaporation commence-t-elle, que le liquide devient blanchâtre et qu'il se sépare un corps pulvérulent dont la quantité augmente tou-

jours. En même temps la solution commence à exercer une réaction alcaline, qui devient d'autant plus prononcée que le liquide est plus concentré; nous y reviendrons plus tard. Quand toute l'eau s'est évaporée à une douce chaleur, il reste un corps blanc jaunâtre qui a une saveur un peu alcaline et qui bleuit passablement le papier de lakmus rouge humide.

Si on verse de l'acide sulfurique sur le sel en question, il se dégage un gaz dont l'odeur, extrêmement forte et désagréable, me paraît tenir le milieu entre celle du brôme et celle de l'iode. Quand on le respire, il produit des effets semblables à ceux du chlore et du brôme, c'est-à-dire des affections catarrhales. Il détruit promptement les couleurs végétales, décompose instantanément l'iodure de potassium en dégageant l'iode, et transforme le ferrocyanure de potassium en cyanide.

Quand j'ai fait bouillir le même sel dans une cornue avec de l'acide sulfurique étendu d'eau, l'intérieur du vase a pris une couleur légèrement brunâtre, qui n'appartenait pas au gaz renfermé au-dessus de l'eau, mais bien à l'eau à travers laquelle ce gaz avait passé. Une autre circonstance digne de remarque c'est que, pendant que le liquide était en ébullition, on a aperçu des traces de vapeur d'iode dans le cou de la cornue, et que de l'acide sulfurique ajouté à notre sel a légèrement coloré celui-ci en jaune-brun. Quand j'ai fait chauffer jusqu'à la fusion, dans un petit tube de verre, une petite quantité de notre sel seul, l'espace libre du tube a pris une faible couleur violette, et la masse fondue une couleur jaune-brun. En faisant durer plus longtemps la chaleur ardente, j'ai vu la vapeur colorée cesser de se dégager et le sel devenir blanc. Celui-ci, dissous dans l'eau et mêlé avec un peu d'acide nitrique, a coloré en bleu l'amidon.

Si on introduit une petite quantité de gaz acide sulfureux dans le liquide neutre et dépouillé d'iodure de potassium, que l'on obtient par le traitement d'une solution aqueuse de ce sel avec de l'air qui renferme de l'ozône, le gaz sulfureux prend

une couleur jaune brunâtre. Ces réactions paraissent démontrer que notre sel renferme de l'iodate de potasse et que cette combinaison se forme pendant que l'ozône agit sur l'iodure de potassium. Si l'on agitait avec la même solution une atmosphère renfermant du chlore, il devrait de même se former de l'iodate de potasse, une partie du chlore qui forme de l'acide hydrochlorique se combinant avec l'hydrogène de l'eau, et une partie de l'iode dégagé se combinant avec l'oxigène de l'eau.

Il paraît donc que, dans les circonstances en question, une partie de l'ozône du moins se combine aussi avec l'hydrogène de l'eau, et forme ainsi le composé d'hydrogène et d'ozône, tandis que l'oxigène de cette eau forme de l'acide iodique avec l'iode. Si l'on aiguise la solution saline neutre, dont j'ai plusieurs fois parlé, avec de l'acide sulfurique, phosphorique, arsénique, hydrochlorique, oxalique, acétique, tartrique ou formique, le mélange d'amidon et d'iodure de potassium la colore en bleu foncé ; l'on obtient encore la même réaction quand on étend d'une énorme quantité d'eau la solution dont il s'agit. Je ferai remarquer, en passant, que ce résultat a aussi lieu avec une solution de potasse pure, qu'on tient longtemps en contact avec une atmosphère qui renferme de l'ozône.

Maintenant le gaz qui se dégage de notre sel avec l'aide de l'acide sulfurique serait-il de l'ozône? Se trouverait-il de l'ozonure de potassium dans ledit sel, et la couleur bleue que nous avons vue se manifester dans la colle d'amidon, devrait-on l'attribuer, en partie du moins, à de l'ozône qui serait dégagé par le moyen des acides et qui ferait passer à l'état libre l'iode de l'iodure de potassium?

Je n'ose faire aucune réponse à ces questions. Avant que nous puissions rien avancer de certain sur les phénomènes que j'ai décrits, il faudra faire de nouvelles recherches et, en particulier, opérer sur des quantités du sel en question plus considérables que celles avec lesquelles j'ai exécuté ces expériences préliminaires.

S'il existait réellement de l'ozonure de potassium dans notre sel, et que l'acide sulfurique et d'autres acides se dégageassent de l'ozône, nous aurions là un phénomène bien particulier, qui nous démontrerait en outre l'existence simultanée d'autres phénomènes bizarres, et peut-être la formation de combinaisons d'ammonium et d'amides. S'il y avait de l'ozonure de potassium analogue par sa composition au chlorure de potassium, on devrait pouvoir, au moyen d'un acide (sulfurique par exemple) étendu d'eau, obtenir avec le premier le composé d'ozone et d'hydrogène, en supposant que celui-ci pût, en outre, être décomposé dans ces circonstances exactement comme le chlorure de potassium. Avant d'entamer un autre sujet, je dois dire que du papier de lakmus devient blanc, quand on le plonge dans une solution de notre sel et qu'on le fait sécher et plonger alternativement à plusieurs reprises.

Autres faits qui semblent liés à la composition de l'azote.

Si l'azote est réellement composé d'ozône et d'hydrogène, et qu'il forme une combinaison analogue à celle de l'acide hydrochlorique, on doit s'attendre que de l'azote pur, chauffé avec de l'oxide de potassium pur, formera de l'ozonure de potassium et de l'eau. Je n'ai pas encore trouvé le temps nécessaire pour faire d'une manière complète cette expérience fondamentale ; toutefois j'en ai fait quelques-unes qui tendent au même but, et dont les résultats paraissent autoriser à conclure que l'azote est décomposé par l'oxide de potassium à une haute température. En général, tout hydrate de potasse solide doit avoir été, pour sa préparation, soumis plus ou moins longtemps à une chaleur ardente, sous la libre action de l'air atmosphérique. Or, si l'azote était réellement décomposé par l'oxide de potassium fondu, et qu'il se formât en même temps de l'ozonure de potassium, cette dernière combinaison devrait se retrouver dans tout hydrate de potasse solide. Si l'on fait

dissoudre dans l'eau distillée un petit morceau d'hydrate de potasse, et qu'on y ajoute de l'acide hydrochlorique, sulfurique ou phosphorique pur, en quantité suffisante pour que le liquide prenne une saveur sensiblement acide, celui-ci acquiert en même temps la propriété de bleuir la colle d'iodure de potassium.

Il ne m'a pas encore été possible d'obtenir une espèce de potasse qui, traitée comme je viens de l'indiquer, n'ait pas bleui la colle en question.

Je dois à l'obligeance de Mr. le professeur Löwig une petite quantité de potasse qui possède un haut degré de pureté ; mais elle réagit encore tellement sur la colle, qu'elle lui fait prendre une faible couleur violette. Il est vraisemblable qu'elle n'a été soumise que peu de temps à la chaleur rouge, et dans un creuset couvert. L'hydrate de potasse du commerce, ou la pierre ordinaire à cautère des pharmaciens, est, en revanche, l'hydrate de potasse qui donne à la colle d'iodure de potassium la couleur bleue la plus foncée, quand il a été préalablement dissous dans de l'acide sulfurique ou quelque autre acide parfaitement pur. Lorsque j'ai tenu exposé librement à l'air de l'hydrate de potasse à l'état de fusion ardente, il a pu, au bout d'un petit nombre de minutes et après avoir été mélangé à l'acide, donner à la colle d'iodure de potassium une couleur bleue très-prononcée, qui est devenue d'autant plus foncée que la potasse est restée plus longtemps exposée à l'action de l'air dans les mêmes circonstances. Je n'ai point encore fait d'expériences avec d'autres oxides alcalins, tels que le sodium; mais je n'ai pas le moindre doute que, soumis à la chaleur ardente sous la libre influence de l'air, ils n'acquissent aussi la propriété de bleuir la colle d'iodure de potassium. Si l'azote renferme de l'ozône, il se pourrait que dans certaines circonstances les nitrates alcalins formassent aussi des ozonides, exactement comme on obtient des chlorides, des bromides et des iodides avec les chlorates, les bromates et les iodates.

Du nitrate de potasse parfaitement pur a été exposé à un feu

ardent, pendant plusieurs heures, dans un vase couvert; j'ai obtenu ainsi une substance d'une saveur piquante, qui, saturée d'acide hydrochlorique ou sulfurique, colorait en bleu foncé la colle d'iodure de potassium. Cependant, il n'est pas besoin pour cela de faire durer longtemps la chaleur ardente. Si l'on tient pendant quelques minutes seulement une quantité de nitre à l'état de fusion dans une petite cuiller de platine, le résidu, quoique dissous dans une forte proportion d'eau, détermine une couleur bleue prononcée quand on le mélange avec de l'acide hydrochlorique ou sulfurique et la colle d'iodure de potassium. Cette réaction ne peut être due à ce que du chlore ou de l'acide nitrique a été mis en liberté, car une solution de nitre étendue et mélangée avec un peu d'acide hydrochlorique, ne bleuit pas la colle d'iodure de potassium; et il en est de même quand cette solution renferme de l'acide sulfurique. La décomposition que subit l'iodure de potassium dans ces circonstances, ne peut donc être opérée ni par du chlore dégagé, ni par de l'acide nitrique.

De la strontiane obtenue avec du nitrate soumis à la chaleur ardente, et supersaturée avec un acide quelconque, fournit avec la colle d'iodure de potassium des précipités bleus. J'ai à peine besoin de dire qu'il en est de même du nitrate de baryte qu'on a décomposé par la chaleur ardente.

Si l'on brûle à l'air libre du potassium métallique, et qu'on sature à excès avec de l'acide sulfurique le résidu alcalin qu'on obtient, cette solution, même quand on l'étend d'une grande quantité d'eau, possède encore la propriété de bleuir la colle d'iodure de potassium.

Je ne puis m'empêcher, à cette occasion, de mentionner quelques autres faits que j'ai découverts et qui se rattachent à notre sujet; mais avant tout je dois indiquer une précaution qu'il faut observer quand on veut obtenir des résultats certains. Si l'on emploie dans ce but de l'acide hydrochlorique, il faut s'assurer qu'il ne renferme pas une petite proportion de

chlore qui le rendrait capable de bleuir à lui seul la colle d'iodure de potassium. S'il la bleuit, il faut alors le faire bouillir et en chasser entièrement le chlore. Mais pour procéder avec une sécurité complète, on fait usage, au lieu de cet acide, d'acide sulfurique ou phosphorique étendu parfaitement pur. Après qu'on s'est assuré que les acides étendus, destinés à servir de réactifs, n'altèrent pas la colle d'iodure de potassium, voici comment il faut s'y prendre quand on veut savoir si certaines substances ont la propriété de décomposer ce même iodure : on étend avec de l'eau distillée la substance à examiner, et on ajoute à cette solution de l'acide hydrochloriqne ou de l'autre parfaitement pur, jusqu'à ce que le liquide ait une saveur fortement acide.

Quand j'ai traité de cette manière de la chaux fraîche, tirée du calcaire oolitique de notre contrée, ou de la magnésie calcinée, ou de l'eau-mère des salines voisines (Schweizerhalle), ces substances ont donné à la colle d'épreuve une couleur sensiblement violette; j'ai obtenu aussi cet effet avec du carbonate et du sulfate de magnésie. La couleur produite a été bleue foncée, quand j'ai mélangé avec une petite proportion d'acide hydrochloriquc et avec la colle de l'acétate de potasse liquéfié qui se trouvait depuis un grand nombre d'années dans un vase mal fermé. Avec un morceau un peu délité de soude cristallisée pure, que je devais à l'obligeance de Mr. le baron de Seckendorf, j'ai obtenu la même réaction à un degré très-remarquable. D'autres espèces de soude n'ont donné, dans les mêmes circonstances, qu'une faible couleur violette. Une eau-mère de carbonate de soude enlevé à des murs couverts d'efflorescence a présenté des circonstances singulières. Quand on a étendu avec de l'eau distillée cette solution de couleur brune, et qu'on l'a ensuite supersaturée avec de l'acide sulfurique ou hydrochlorique, il s'est dégagé une odeur d'urine particulière. Une addition de colle d'iodure de potassium n'a point produit de couleur bleue dans les premières minutes;

mais bientôt la surface a pris une couleur violet foncé, après quoi toute la masse du liquide est devenue d'un bleu noir. Quand j'ai mélangé avec de l'acide sulfurique concentré le résidu obtenu de la solution ci-dessus par l'évaporation, il s'est dégagé, outre de l'acide hydrochlorique et de l'acide carbonique, un autre principe dont l'odeur avait une grande ressemblance avec celle du chlorure de soufre.

Quelle peut donc être la cause de ces réactions, de celle en particulier des oxides alcalins, rougis à l'air libre, sur la colle d'iodure de potassium?

Les chimistes admettent que de la potasse, rougie modérément à l'air libre, enlève encore de l'oxigène à ce dernier et se transforme partiellement en peroxide. Cette dernière substance se produit aussi, dit-on, quand on brûle le potassium dans l'oxigène ou dans l'air, et en outre quand on chauffe au rouge du salpêtre. Faudrait-il attribuer la décomposition de l'iodure de potassium à la présence du peroxide de potassium dans la potasse, le nitre, etc., chauffé au rouge? L'oxigène dégagé par l'acide se combinerait-il avec le potassium du sel d'iode? Au premier abord, il semble que c'est ce qui arrive; mais si on examine de plus près les circonstances dans lesquelles la colle d'iodure de potassium se colore en bleu, cette hypothèse ne paraît guère admissible. On sait qu'il suffit du contact avec l'eau pour transformer le peroxide de potassium en hydrate de potasse et en oxigène. Or supposons que ce peroxide ne pût pas être entièrement décomposé par l'eau, on devrait penser que l'addition d'une certaine quantité d'acide sulfurique ou hydrochlorique achèverait cette décomposition, surtout lorsque en outre on chauffe la solution acide. Mais, alors même, on voit encore se produire la réaction bleue dont j'ai parlé, quand on ajoute la colle d'iodure de potassium. Toutefois une ébullition prolongée enlève à la solution acide le pouvoir de réagir ainsi sur ce dernier.

J'ai fait remarquer plus haut, que si on mélange avec de l'a-

cide hydrochlorique, sulfurique, etc., la combinaison qu'on obtient en traitant l'iodure de potassium avec l'ozône dégagé par l'intermédiaire du phosphore, cette combinaison bleuit la colle d'iodure de potassium. La potasse rougie à l'air, le potassium calciné, le nitre chauffé au rouge, etc., se comportent donc, sous ce rapport, exactement comme la combinaison d'ozône. Or comme, d'après les motifs qui ont été exposés, on ne pourrait guère admettre qu'il reste encore du peroxide de potassium ou de l'eau oxidée dans la potasse rougie qui a été supersaturée d'acide et soumise à une chaleur modérée, la couleur bleue de notre colle paraît être due à une combinaison d'ozône, qui provient de la décomposition opérée sur l'azote de l'air dans la potasse en fusion. Si, par exemple, l'atmosphère renfermait de l'acide hydrochlorique au lieu d'azote, il devrait se former du chlorure de potassium quand on ferait rougir la potasse dans l'air.

Quant à la couleur bleue produite par du nitre chauffé au rouge, il se pourrait qu'elle fût due également à la même combinaison d'ozône; car si l'azote sert réellement de véhicule à l'ozône, ce dernier corps doit se trouver aussi dans l'acide nitrique, et il y a possibilité qu'il se forme de l'ozonure de potassium quand on soumet du nitrate de potassium à la chaleur ardente. Mais, en tout cas, il faudra de nouvelles recherches avant qu'on puisse décider avec assurance où réside la cause des réactions qui nous occupent; le sujet d'ailleurs est assez important pour mériter toute l'attention des chimistes.

De la manière dont la colle d'iodure de potassium et l'iodure de potassium se comportent dans l'air atmosphérique.

La question de la composition de l'azote est d'une telle importance que tous les faits qui s'y rapportent méritent d'attirer la plus soigneuse attention des physiciens. Ayant eu fréquemment à me servir de colle d'iodure de potassium dans mes

recherches sur l'ozône, j'ai eu l'occasion d'observer dans ce mélange quelques phénomènes qui étaient tout nouveaux pour moi, et qui me paraissent difficiles à expliquer dans l'état actuel de nos connaissances chimiques.

Le vase dans lequel je conservais ma colle d'épreuve préparée, était un verre à boire ordinaire, que je laissais constamment ouvert. Peu de jours après la préparation du mélange, les parois intérieures du vase, contre lesquelles de minces couches du réactif étaient restées attachées, avaient pris une couleur bleu foncé. D'abord j'attribuai ce changement de couleur à une décomposition accidentelle de l'iodure de potassium, c'est-à-dire à la présence de l'ozône, que j'avais préparé dans de grands matras dans la même chambre où se trouvait le vase de colle d'iodure. Mais je ne tardai pas à reconnaître que je me trompais dans ma conjecture.

J'ai suspendu des bandes de papier à filtrer humectées de ma colle d'iodure, dans divers endroits de mon habitation, où il ne pouvait se trouver ni du chlore, ni de l'ozône préparé artificiellement, ni aucune autre substance capable de décomposer l'iodure de potassium. Au bout de dix minutes déjà j'ai aperçu une teinte bleue sur le papier, et plus tôt encore dans les endroits où il y avait un renouvellement d'air constant; plus vite par conséquent à l'air libre que dans les chambres. Quand, au bout de quelques heures ou même d'un jour entier, les bandes de papier ainsi suspendues s'étaient complétement séchées, elles avaient une couleur brun foncé; mais elles prenaient une couleur bleue prononcée, dès qu'on les humectait avec de l'eau. Il en a été de même avec des fragments de porcelaine recouverts de la même colle et placés dans les mêmes circonstances. Quand on a suspendu les bandes de papier dans des latrines très-infectes, leur couleur, comme on peut bien le supposer, n'a pas subi la moindre altération.

Ces mêmes bandes de papier n'ont point été du tout colorées quand on les a tenues dans des vases fermés hermétique-

ment ; il en a été de même pour la colle d'iodure, quand on l'a tenue loin du contact de l'air. Comme il y a maintenant beaucoup de papiers qui renferment de l'amidon au lieu de colle, on en voit souvent bleuir à l'air des bandes qui ont seulement été trempées dans une solution d'iodure de potassium.

Afin que le contact de cette solution avec l'air fût aussi complet que possible, j'ai plongé un grand morceau de toile fine et parfaitement propre, dans une solution d'iodure de potassium extrêmement pure, c'est-à-dire qui ne renfermait pas une trace d'iode libre, puis je l'ai laissé pendant 48 heures suspendu en plein air. Au bout de ce temps il avait pris une couleur légèrement brune, plus prononcée vers les bords ; traité alors avec de l'eau distillée, il m'a donné une solution d'une teinte sensiblement jaune. Cette coloration était due à de l'iode libre ; en effet la solution, mélangée avec une forte colle d'amidon, lui a fait prendre une teinte sensiblement bleue sans qu'il y ait eu besoin d'ajouter ou du chlore ou de l'acide nitrique.

Dans les circonstances dont il s'agit, il y avait évidemment une faible décomposition d'iodure de potassium et un léger dégagement d'iode. La question est de savoir ce qui a opéré cette décomposition, et quelle est la substance qui a rendu l'iode libre. Ce n'est point à l'oxigène de l'air que ce rôle peut appartenir ; car si cela était, il devrait se former de la potasse libre. Or celle-ci, comme on sait, ne peut rester isolée en présence de l'iode libre ; on ne peut donc pas non plus supposer que la couleur bleue, prise par la colle d'iodure de potassium, ou la couleur brune prise par la solution d'iodure de potassium, soient dues à une décomposition du sel d'iode qui serait opérée par l'oxigène de l'air atmosphérique. Mais il faut que quelque chose ait pris la place de l'iode, qu'il se soit formé une combinaison quelconque de potassium. Si, après avoir traité avec de l'eau distillée le morceau de toile qui avait été humecté avec la solution d'iodure de potassium, et qui était resté ex-

posé à l'action de l'air, on fait chauffer la solution qu'on obtient ainsi, jusqu'à ce qu'elle ne bleuisse plus de la colle pure, et qu'ensuite on la mélange avec de l'acide hydrochlorique ou sulfurique étendu très-pur et de la colle d'amidon, cette solution prend une couleur bleue passablement prononcée; en d'autres termes, elle se comporte exactement comme de l'iodure de potassium traité avec l'ozône.

Ne serions-nous pas non plus en droit de conclure, d'après cette ressemblance, qu'il se forme une combinaison d'ozône dans l'action que l'air atmosphérique exerce sur l'iodure de potassium? La séparation de l'iode dans la seconde de ces combinaisons ne pourrait-elle pas être due avant tout à la présence d'ozône libre dans l'atmosphère? Nous avons vu plus haut que ce corps se dégage quand on produit des décharges électriques artificielles dans l'atmosphère, par exemple par l'émission de l'électricité ordinaire dans l'air atmosphérique. Or il s'opère sans cesse dans ce dernier des décharges de ce genre plus ou moins fortes; en même temps, comme dans les décharges que nous déterminons par nos instruments, il doit se faire un dégagement d'ozône, et ce corps gazeux doit se répandre dans l'atmosphère. La présence d'ozône libre dans l'atmosphère semble donc une conséquence nécessaire des neutralisations électriques qui y ont lieu sans cesse. Or si on réfléchit que l'iodure de potassium est décomposé par l'ozône, même à la température ordinaire, à peine y a-t-il encore lieu d'être étonné que l'iodure de potassium puisse être décomposé dans l'atmosphère, et qu'une partie soit transformée en une combinaison d'ozône.

Une circonstance bien digne de remarque, c'est que la décomposition de l'iodure de potassium ne devient sensible que lorsqu'on expose ce sel à l'action de l'air, et qu'elle ne se fait pas avec abondance lorsque ce corps se trouve dans des endroits remplis d'air hermétiquement clos. S'il y a réellement de l'ozône libre dans l'atmosphère, la quantité ne peut pas en être considérable; par exemple, la proportion qui s'en trouverait

dans un pied cube d'air ne pourrait décomposer qu'une quantité insignifiante d'iodure de potassium. — Il en est autrement quand cette combinaison se trouve dans un lieu où il se fait continuellement un renouvellement d'air. Chaque particule d'air qui vient en contact avec le sel, lui abandonne la proportion d'ozône qui se trouve associée avec elle ; et si le renouvellement d'air dure assez longtemps, la quantité de décomposition opérée par cet ozône doit finir par être sensible. Cela ferait comprendre pourquoi, par exemple, une bande de toile trempée dans la solution d'iodure de potassium, reste blanche dans un flacon rempli d'air mais bien fermé, tandis que cette même bande, suspendue à l'air libre, prend une couleur brune, c'est-à-dire qu'il se fait à sa surface un dégagement d'iode.

Cependant il est possible, au point de vue chimique, que la décomposition de l'iodure ne soit due qu'en partie à la cause que j'ai indiquée, et que l'azote de l'atmosphère y soit aussi pour quelque chose.

Ainsi que nous l'avons vu, l'ozône a pour le potassium une affinité plus grande que celle de l'iode pour ce même métal. Or supposons la combinaison d'hydrogène et d'ozône mélangée avec de l'oxigène, c'est-à-dire de l'air atmosphérique, en contact avec de l'iodure de potassium : l'oxigène pourrait, en exerçant son attraction chimique sur l'hydrogène de l'azote, et le potassium, en exerçant la sienne sur l'ozône, opérer une décomposition chimique de la combinaison d'hydrogène et d'ozône, à peu près comme il arrive à l'azote dans son contact avec du phosphore et avec de l'oxigène libre. L'amidon et la fibre végétale ayant une espèce d'affinité chimique pour l'iode, il se pourrait aussi que cette propriété contribuât à faciliter la décomposition de l'iodure de potassium, et par conséquent celle de la combinaison d'hydrogène et d'ozône.

Afin de voir si la présence d'une substance organique était indispensable pour la décomposition de l'iodure de potassium

dans l'air, j'ai trempé dans la solution de ce sel des fils d'amiante très-fins, après quoi je les ai exposés à l'air libre. Au bout de quelques jours j'ai observé sur ces fils une légère teinte brune, et quand ensuite je les ai mis en contact avec de la colle d'amidon pure, il s'est manifesté dans celle-ci une couleur bleue qu'une addition d'acide hydrochlorique a rendue plus prononcée. Il semble résulter de là que, même en l'absence d'amidon ou de fibre végétale, on peut obtenir, dans l'air, des traces de décomposition d'iodure de potassium et de dégagement d'iode.

Mais un fait certain, c'est que, en présence des substances végétales dont je viens de parler, l'iodure de potassium subit une décomposition beaucoup plus rapide et plus considérable que lorsqu'elles n'y sont pas. D'une manière ou d'une autre, il faut donc que l'amidon, etc., favorise le dégagement de l'iode dans notre sel.

Les faits suivants me paraissent devoir trouver place ici et mériter un examen attentif. Si l'on fait chauffer dans une petite tasse de porcelaine un morceau d'iodure de potassium pur avec de l'acide hydrochlorique pur, la solution se colore sensiblement en jaune et il se dégage des traces d'iode. Comment expliquer ce dégagement d'iode et la formation d'une petite quantité de chlorure de potassium qui l'accompagne sans aucun doute? Je ne puis présenter, en réponse, que des conjectures. Le chlore de l'acide hydrochlorique cherche à s'unir au potassium du sel d'iode, mais il en est empêché par l'équivalent de l'hydrogène avec lequel il est combiné; s'il se trouve là de l'oxigène libre, celui-ci exerce une attraction sur cet hydrogène. En présence de cette double attraction, l'acide se décompose; il se forme de l'eau et du chlorure de potassium avec dégagement d'iode. Mais, comme il ne peut jamais venir à la fois qu'une petite proportion d'oxigène en contact avec l'iodure de potassium et l'acide hydrochlorique, il ne pourra non plus à la fois se décomposer que des traces du sel d'iode et se former que

des traces du chlorure de potassium. Cette opération étant prolongée à l'air libre, il se pourrait que l'iodure de potassium se transformât entièrement en chlorure de potassium, et que tout l'iode fût rendu libre. Si c'est ainsi que les choses se passent, il est aisé de voir que l'acide hydrochlorique se comporte exactement comme la combinaison d'hydrogène et d'ozône, ou l'azote. L'oxigène de l'air se combine, dans l'un des deux cas, avec l'hydrogène de l'azote, dans l'autre avec l'hydrogène de l'acide hydrochlorique; dans l'un, il se forme une combinaison d'ozône avec dégagement d'iode, dans l'autre, du chlorure de potassium aussi avec dégagement d'iode.

J'ai fait chauffer jusqu'à le fondre un morceau d'iodure de potassium dans une petite cuiller de platine. Quand ensuite j'ai tenu au-dessus de la masse en fusion une bande de papier que j'avais trempée dans de la colle pure, cette bande a pris une couleur bleue sensible, et j'ai vu le même effet se produire encore après que le sel d'iodure avait déjà, pendant une heure entière, été chauffé au rouge sur la lampe à esprit-de-vin.

Il a dû, par conséquent, y avoir dans ces circonstances dégagement d'iode. Mais comment ce dégagement a-t-il eu lieu? Le temps m'a manqué jusqu'à présent pour faire de nouvelles expériences sur la recherche de la cause de ce phénomène; cependant voici encore quelques faits que j'ai découverts relativement à l'iodure de potassium. Le dégagement de l'iode commence à se faire avant même que le sel d'iode soit entièrement fondu; de la colle d'amidon pure ne se bleuit pas aussi fortement que celle qui renferme un peu d'iodure de potassium; le sel d'iode qui a été pendant longtemps exposé à une forte chaleur à l'air libre, colore sensiblement en bleu la colle d'amidon. quand on le dissout dans l'eau et qu'on le mélange avec une petite quantité d'acide sulfurique ou hydrochlorique étendu; mais cet effet n'a pas lieu si le sel n'a pas été exposé à une forte chaleur.

Ne se pourrait-il pas aussi que, dans les circonstances que j'ai indiquées, l'azote de l'air fût décomposé tant par l'effet de l'oxigène libre que par le potassium du sel d'iode, et qu'il se formât ainsi une combinaison d'ozône et de l'eau, exactement comme dans la précédente expérience? D'ailleurs le fait, que de la colle d'iodure de potassium prend une couleur bleue plus forte que de l'amidon ordinaire, n'indique-t-il pas qu'au-dessus de l'iodure de potassium fondu il se dégage encore un autre principe que l'iode?

Manière dont la potasse se combine avec l'ozône.

J'ai pris une solution aqueuse de potasse aussi pure que possible, et je l'ai supersaturée d'acide hydrochlorique, de manière qu'elle ne donnait qu'une légère couleur violette à la colle d'iodure de potassium; je l'ai ensuite traitée longtemps avec de l'ozône que j'avais dégagé de l'air atmosphérique à l'aide du phosphore. Il a fallu agiter pendant des heures le vase qui renfermait l'ozône à l'état de gaz avec la solution, avant que l'absorption du premier par celle-ci ait été achevée. La propriété caustique de la solution a disparu d'autant plus complétement, qu'elle a été agitée plus longtemps et à plus de reprises avec de l'air renfermant de l'ozône; cependant, même au bout de trois semaines, le liquide ainsi traité exerçait encore une réaction alcaline sur le papier de lakmus rougi, quoiqu'il ne présentât plus qu'une saveur extrêmement faible.

Le mélange de cette solution avec de l'acide hydrochlorique ou sulfurique a été suivi d'une violente effervescence; et quand on a conduit dans une solution de potasse le gaz qui se dégageait alors, celui-ci a été presque entièrement absorbé. Il paraît d'après cela que ce gaz était de l'acide carbonique, que la potasse avait absorbé pendant qu'elle était en contact avec de l'air atmosphérique renfermant de l'ozône.

Quand j'ai versé un peu d'acide hydrochlorique ou sulfuri-

que étendu dans la solution de potasse traitée avec l'ozône, et que j'ai mis dans le mélange de la colle d'iodure de potassium, celle-ci a pris une couleur bleu-noir très-foncée. Quand j'ai concentré la solution en la faisant notablement évaporer, elle est devenue de plus en plus alcaline; et quand alors j'y ai mélangé un peu d'eau colorée sensiblement en bleu avec une solution d'indigo, que j'ai ajouté une légère quantité d'acide sulfurique et fait chauffer, la couleur a disparu. J'ai mis au fond d'un tube de verre fermé un cristal de sulfate de fer; par-dessus j'ai versé une légère quantité de notre solution, après l'avoir neutralisée avec de l'acide sulfurique; j'ai ajouté ensuite quelques gouttes d'acide sulfurique très-pur, et il s'est manifesté une coloration brunâtre autour du sel de fer.

Les faits que je viens de rapporter semblent faire voir avec évidence que l'ozône, mis en contact avec une solution de potasse, forme une combinaison d'ozône et de potassium; exactement comme le chlore donne naissance à du chlorure de potassium dans les mêmes circonstances. Quant à la réaction produite par le sulfate de fer, elle semble indiquer qu'il se trouve aussi un nitrate dans la solution employée. Mais ce nitrate ne pouvant pas avoir existé primitivement dans la solution de potasse, il faudrait qu'il se fût formé en même temps que la combinaison d'ozône.

Cavendish a déjà fait voir qu'il se forme du nitre quand on fait passer des étincelles électriques à travers de l'air atmosphérique mis en contact avec une solution de potasse. S'il se fait alors un dégagement d'ozône ainsi que je l'ai montré plus haut, l'on conçoit aisément qu'il puisse aussi se former du nitre, comme lorsqu'on traite la potasse avec de l'ozône chimique. Or, selon ma conjecture, la nitrification ne se fait pas directement dans l'expérience de Cavendish, mais de la même manière que la production du chlorate de potasse a lieu quand on fait agir du chlore sur une solution de potasse.

Cependant, pour mettre tout à fait en évidence ce point

important, il est indispensable d'augmenter le nombre des expériences et particulièrement d'en faire sur une plus grande échelle, c'est-à-dire d'opérer sur des quantités d'ozône et de solution de potasse plus considérables que celles avec lesquelles j'ai obtenu les résultats dont j'ai fait mention.

Appendice.

Il a été dit plus haut que, lorsqu'on expose une solution d'iodure de potassium à l'action d'une atmosphère qui renferme de l'ozône, il se produit un iodate. Or j'ai trouvé que de l'iode seul mélangé avec de l'ozône décompose l'eau, et qu'il se forme alors de l'acide iodique. Si l'on prend un ballon dans lequel on a dégagé de l'ozône de l'air atmosphérique au moyen du phosphore, d'après le procédé que j'ai indiqué, qu'on mette ensuite un peu d'iode dans ce ballon et qu'on laisse après cela le vase tranquille pendant 24 heures, l'eau qui y est restée devient capable de rougir le papier de lakmus. Si l'on fait chauffer le liquide pour chasser les traces d'iode libre, et qu'on le mélange ensuite avec de la colle d'amidon pure, celle-ci prend la couleur bleue ; si on évapore jusqu'à siccité, on obtient pour résidu une substance blanche, d'une saveur acide, qui laisse échapper des vapeurs violettes quand on la soumet à une forte chaleur. L'acide sulfureux dégage de l'iode de la solution acide, et il se forme de l'acide sulfurique. Ces faits mettent hors de doute que la substance acide dont il a été question est de l'acide iodique, et ils font voir en même temps que l'ozône se comporte exactement comme le chlore qu'on met en contact avec de l'iode et de l'eau. Comme dans ce dernier cas il se forme de l'acide iodique et de l'acide hydrochlorique, il y a de même, dans le premier, formation d'acide iodique, ce qui ne peut assurément avoir lieu qu'aux dépens de l'oxigène de l'eau. — Mais que devient l'hydrogène de l'eau? A juger par analogie, il se combine avec l'ozône,

c'est-à-dire qu'il forme de l'azote. Jusqu'à présent il ne m'a pas été possible d'obtenir autre chose que de l'acide iodique dans les circonstances en question, et de découvrir autre chose que de l'azote et de l'oxigène dans l'air atmosphérique qui m'a servi à produire cet acide.

Si l'on plonge dans de l'acide hydriodique pur incolore une bande blanche de papier d'impression, et qu'on la mette un seul instant en contact avec une atmosphère qui renferme de l'ozône, elle prend une couleur jaune-brun, exactement comme si on l'avait exposée à l'action du chlore. Si l'on verse de l'acide hydriodique étendu d'eau et limpide dans un flacon qui renferme de l'ozône, cet acide prend aussitôt une couleur brun-jaunâtre et l'ozône disparaît.

Ces expériences font voir clairement que l'ozône enlève l'hydrogène de l'acide hydriodique, exactement comme le fait le chlore ; elles permettent en même temps de supposer que, si l'on tient pendant assez longtemps en contact avec de l'eau et de l'ozône une certaine quantité d'acide hydriodique, cet acide se transforme en acide iodique, et qu'il y a production de la combinaison d'hydrogène et d'ozône. La manière dont l'acide hydriodique se comporte avec l'ozône pourrait, plus que toute autre circonstance, fournir le moyen de décider la question de la composition de l'azote. Si, comme je suis disposé à le croire, ce gaz était formé par volumes égaux d'ozône et d'hydrogène, et qu'un volume d'azote fût égal à la somme des volumes de ses éléments, il en résulterait que l'ozône renfermé dans un ballon devrait prendre un volume double quand on le ferait réagir sur l'acide hydriodique : il se formerait, par exemple, huit pouces cubes d'azote avec quatre pouces cubes d'ozône. Par conséquent aussi, quand on met en contact de l'acide hydriodique avec une atmosphère qui renferme de l'ozône, celle-ci devrait acquérir une élasticité plus grande, et cet accroissement d'élasticité, joint à la proportion d'acide hydriodique décomposé ou d'acide iodique formé, permettrait de tirer

une conclusion sur la composition de l'azote. Il faudrait sans doute, pour que les résultats obtenus fussent parfaitement certains, opérer sur un volume considérable d'air renfermant de l'ozône ; mais, ainsi que je l'ai déjà remarqué, mes expériences n'ont pas été faites jusqu'à présent sur une assez grande échelle.

J'ai dit plus haut que le bromure de potassium n'est pas décomposé par l'ozône ; des expériences postérieures m'ont appris que cette dernière substance exerce pourtant un pouvoir de décomposition sur ce sel haloïde. En effet, si l'on met pendant quelque temps en contact une solution aqueuse de bromure de potassium avec une atmosphère qui renferme de l'ozône, il se dégage une odeur prononcée de brôme, tandis que celle de l'ozône disparaît par degrés ; en outre la solution prend une faible couleur jaunâtre. Si on met cette dernière en contact avec de la colle d'iodure de potassium, la colle prend une couleur bleue très-prononcée, qui disparaît sous l'action de la chaleur. Mais si, après avoir fait chauffer et laissé refroidir la solution, on y mêle une petite quantité d'acide sulfurique, elle reprend la propriété de donner une couleur bleu foncé à la colle en question. Le temps m'a manqué jusqu'à présent pour m'assurer s'il se forme dans ce cas-là de l'ozonure de potassium ou du bromate de potasse, ou si c'est l'une ou l'autre de ces combinaisons qui est la cause de la coloration en bleu. Ce qui est certain, c'est que si l'on mélange des traces de bromate de potasse à la colle d'iodure de potassium et qu'on y ajoute de l'acide sulfurique, hydrochlorique, etc., la colle d'iodure acquiert la propriété de se colorer en bleu très-foncé. Il se peut aussi que l'action de l'ozône sur la solution de bromure de potassium soit accompagnée de la formation de bromate de potasse, exactement comme on voit se former de l'iodate de potasse dans les mêmes circonstances. Alors la coloration en bleu de la colle d'iodure de potassium serait due à ce que l'acide sulfurique décomposerait le bromate, et l'acide dégagé de ce dernier, l'iodure de potassium.

Il pourrait d'ailleurs se former aussi en même temps de l'ozonure de potassium; et si cela était, il faudrait que dans l'action de l'acide sulfurique sur un mélange de bromate de potasse, d'ozonure de potassium et d'iodure de potassium, le dégagement de l'iode fût opéré tant par l'acide bromique que par l'ozône.

Nous avons vu que, lorsqu'on tient assez longtemps en contact de l'iodure de potassium et de l'ozône, il se forme un sel d'où l'acide sulfurique dégage un gaz qui blanchit, qui décompose l'iodure de potassium, etc., et que je suis disposé à regarder comme étant de l'ozône. J'ai fait voir aussi que ce même sel renferme de l'iodate de potasse.

Le dégagement de l'ozône au moyen de l'acide sulfurique dans le mélange que j'ai indiqué, la couleur brune que prend ce même mélange sous l'action du même acide, le dégagement de vapeurs d'iode qui a lieu quand on chauffe le sel, tout cela s'explique d'une manière satisfaisante, si on considère le sel en question comme un mélange d'iodate de potasse et d'ozonure de potassium. En effet, l'acide sulfurique sépare l'acide iodique de la potasse, et une partie de l'oxigène de cet acide se combine avec le potassium de l'ozonide en dégageant de l'ozône et de l'iode. Ce qui précède fait aisément comprendre quelles réactions doivent avoir lieu quand on traite avec de l'acide sulfurique l'iodure de potassium et le mélange en question.

L'iodure de potassium et le bromure de potassium étant l'un et l'autre décomposés par l'ozône, il semble en résulter que l'affinité de ce dernier corps pour le potassium surpasse celle de l'iode et du brôme, et qu'ainsi, en employant le langage de l'électro-chimie, l'ozône est un corps plus électro-négatif que les deux autres radicaux.

J'ai voulu rechercher quel rapport d'affinité il y avait entre l'ozône et le chlore, et dans ce but j'ai agité assez longtemps un flacon qui renfermait une solution de sel commun avec de l'air atmosphérique qui avait été imprégné d'ozône par le pro-

cédé ordinaire. L'ozône n'a disparu qu'avec une extrême lenteur, et même, après avoir laissé reposer le vase pendant trois semaines, j'y ai trouvé encore assez de cette substance pour donner une odeur très-sensible et bleuir fortement la colle d'iodure de potassium. La solution de chlorure de sodium ne pouvait, à elle seule, colorer en bleu la colle d'épreuve ; mais on lui faisait acquérir cette propriété en y versant quelques gouttes d'acide sulfurique pur.

Ces faits me paraissent démontrer que l'ozône ne peut pas séparer le chlore de sa combinaison avec le sodium, et qu'ainsi le chlore est plus négatif que l'ozône. Si cela est exact, voici dans quel ordre on pourrait classer les radicaux en question, d'après leur degré d'affinité : chlore, ozône, brôme et iode.

Je ne puis encore indiquer à quelle cause est due la coloration en bleu que présente la colle d'épreuve, quand on ajoute un peu d'acide sulfurique à la solution de sel commun mélangée d'ozône.

Des faits que je mentionnerai plus loin permettent de supposer qu'une partie de l'eau de la solution de chlorure de sodium est décomposée et forme peut-être avec l'ozône de l'ozonate d'ammoniaque. Mais il pourrait y avoir aussi, dans ces circonstances, formation de chlorate de soude et du composé d'ozône et d'hydrogène, quoique cette triple transformation du sel commun, de l'eau et de l'ozône me paraisse très-peu vraisemblable.

Il a déjà été dit qu'une solution de potasse tenue longtemps en contact avec de l'air mélangé d'ozône, acquiert la propriété de bleuir la colle d'iodure de potassium quand on la sature auparavant à excès avec de l'acide sulfurique. Nous avons essayé d'expliquer cette réaction par la présence d'un ozonure de potassium ; mais les observations qui précèdent feraient croire qu'elle est due à de l'ozonate de potasse, qui se formerait par l'action de l'ozône sur la solution de potasse. Si l'acide ozonique était composé d'un atome d'ozône et de cinq atomes d'oxi-

gène, un atome de potasse, cinq atomes d'eau et six atomes d'ozône pourraient produire un atome d'ozonate de potasse et cinq atomes du composé d'hydrogène et d'ozône. Or si les acides chlorique, bromique et iodique libres décomposent l'iodure de potassium, l'acide bromique libre pourrait avoir aussi cette propriété, et cela expliquerait la réaction dont il s'agit. Mais il se peut aussi que l'ozône exerce sur la solution de potasse une action semblable à celle du chlore, c'est-à-dire qu'avec six atomes de potasse et six atomes d'ozône il se forme un atome d'ozonate de potasse et cinq atomes d'ozonure de potassium.

Il a été dit plus haut que du nitrate de potasse ou du nitrate de baryte, décomposé par l'effet de la chaleur, acquiert la propriété de bleuir la colle d'iodure de potassium, pourvu du moins qu'on ait soin de le traiter auparavant avec de l'acide sulfurique pur mélangé d'eau distillée. J'ai déjà essayé de faire voir que la réaction dont il s'agit n'est pas produite par du peroxide de potassium ou de barium. On pourrait sans doute, et à plus juste titre, l'attribuer à la présence d'ozonure de potassium ou d'ozonure de barium ; mais, en prenant l'analogie pour guide, il devra paraître plus vraisemblable que, lorsqu'on chauffe les nitrates alcalins, il se forme un ozonate, et que ce soit à la présence de ce composé qu'on doit attribuer avant tout la coloration en bleu de la colle d'épreuve. Si ce corps existe, il doit être décomposé par la présence de l'acide sulfurique, l'acide ozonique doit se dégager, puis exercer son action décomposante sur l'iodure de potassium existant, exactement comme le font les acides chlorique, iodique, etc. J'ai déjà attiré l'attention sur ce fait, qu'une solution de potasse, tenue longtemps en contact avec de l'ozône, se comporte à l'égard de notre colle d'épreuve de la même manière que le salpêtre soumis à une forte chaleur ou que la baryte qu'on obtient en chauffant le nitrate de baryte. Or s'il y a lieu de croire qu'il se trouve de l'ozonate de potasse dans la solution de potasse ci-dessus, nous pouvons supposer également qu'il existe des ozonates dans les substances mentionnées plus haut.

Ne pourrait-il pas aussi se former une semblable combinaison quand on fait chauffer au rouge de l'hydrate de potasse à l'air libre? Ainsi que nous l'avons vu plus haut, l'expérience démontre que, si l'on dissout de la potasse dans de l'eau distillée et qu'on la sature à excès avec de l'acide sulfurique, il suffit ensuite d'une courte exposition à une forte chaleur pour lui donner la propriété de bleuir la colle d'épreuve.

Le phénomène de l'éclair doit nécessairement être accompagné d'un dégagement d'ozône; j'étais donc très-désireux de savoir comment se comporterait de l'eau provenant d'un nuage orageux. A cet effet j'ai recueilli en plein air de l'eau qui était tombée au commencement d'un orage, et je l'ai d'abord *mise* en contact avec de la colle d'iodure de potassium pure. L'ozône étant très-peu soluble dans l'eau, je ne m'attendais pas à obtenir une réaction sensible, et en effet la colle n'a point été colorée. Mais il n'en a pas été de même quand j'ai ajouté à cette eau un peu d'acide sulfurique ou hydrochlorique *étendu*: la colle a pris alors peu à peu la couleur bleue. Si on maintient longtemps l'eau d'orage à l'état d'ébullition, et qu'on en fasse évaporer la plus grande partie, le résidu possède encore la même force de réaction que l'eau à l'état naturel.

Si l'on fait évaporer cette eau en grande partie, qu'*on* colore en bleu le résidu avec une teinture d'indigo, qu'on le traite avec de l'acide sulfurique et qu'on le chauffe ensuite jusqu'à l'ébullition, on voit le liquide perdre sa couleur bleue. Je dois faire remarquer encore que l'eau que j'ai recueillie n'a exercé aucune action sur le papier de lakmus, et que du nitrate *d'ammoniaque*, mélangé en petite proportion à de l'eau distillée ordinaire, ne m'a pas donné la coloration bleue quand j'ai ajouté à cette eau de l'acide sulfurique étendu et de la colle d'iodure de potassium. L'eau d'orage renfermerait-elle des traces d'un ozonate, peut-être d'ozonate d'ammoniaque? N'ayant *pu jusqu'à* présent recueillir que de petites quantités de cette eau, je n'ai pu faire encore des expériences décisives, mais je me

mettrai à l'œuvre dès que j'aurai réussi à m'en procurer des quantités plus considérables.

J'ai reçu, il y a peu de temps, d'un pharmacien de Bâle, de l'eau distillée, dans laquelle une dissolution d'argent, des solutions de sels de baryte et de l'oxalate d'ammoniaque ne déterminent pas le moindre précipité, et qui, par conséquent, est complétement dépouillée de chlorures métalliques, d'acide sulfurique et de sels de chaux, c'est-à-dire, est aussi pure que de l'eau distillée ordinaire peut l'être. Or, quand on verse préalablement dans cette eau quelques gouttes d'acide sulfurique, elle acquiert la singulière propriété de colorer en bleu très-foncé la colle d'iodure de potassium. Il va sans dire que, dans les mêmes circonstances, elle colore de même fortement en jaune une solution aqueuse d'iodure de potassium. Si on colore d'une manière sensible cette eau avec une solution d'indigo, et qu'on y verse de l'acide sulfurique pur, la couleur bleue de ce liquide disparaît quand on l'expose ensuite à l'action de la chaleur. Si on fait évaporer l'eau dans une cornue, ce n'est pas le produit de la distillation qui présente la réaction dont je viens de parler, mais bien le résidu que renferme la cornue. Si l'on verse un peu d'acide sulfurique dans l'eau et qu'on la fasse bouillir pendant quelques minutes, elle n'est plus capable de bleuir la colle d'iodure de potassium. Une chose curieuse, c'est que cette eau, mélangée à une petite quantité d'acide sulfurique, fournit par la distillation un liquide qui ne peut à lui seul bleuir la colle d'épreuve, mais dans lequel cette propriété se développe à un degré notable quand on y verse quelques gouttes du même acide. Il se passe donc ici les mêmes choses qu'avec l'eau d'orage; aussi je présume que cette eau est réellement de l'eau atmosphérique.

Quand on a, au moyen du phosphore, séparé de l'ozône de l'air atmosphérique renfermé dans un flacon, qu'on a chassé du vase toute trace d'acide en le lavant convenablement, et qu'on agite avec de l'eau distillée ou ordinaire le fluide aériforme

contenu dans le vase, cette eau acquiert la propriété de l'eau d'orage, c'est-à-dire que, sans être capable de bleuir toute seule la colle d'iodure de potassium, elle le devient par le mélange avec de l'acide sulfurique. Cette eau ne bleuit pas le papier de lakmus rougi; elle ne rougit pas non plus le papier de lakmus coloré en bleu. On peut la faire bouillir aussi longtemps qu'on veut, sans qu'elle perde cette propriété; mais si on y ajoute une petite quantité d'acide sulfurique, et qu'on fasse chauffer longtemps ce mélange, il cesse de pouvoir colorer en bleu la colle d'épreuve. Cette même eau, mélangée avec de l'acide sulfurique et colorée avec une solution d'indigo, perd sa couleur quand on la fait chauffer.

Il résulte de ces faits que l'eau d'orage possède des propriétés tout à fait semblables à celles qu'acquiert l'eau ordinaire quand on l'agite avec de l'ozône; et cette ressemblance doit permettre aussi, selon moi, de conclure que ces deux expèces d'eau présentent la même constitution chimique. Le caractère neutre de l'eau ozonisée et son impuissance à bleuir seule d'une manière sensible la colle d'épreuve, font voir que l'ozône ne peut se dissoudre dans l'eau sans s'altérer, et qu'il se dénature en formant avec elle une combinaison particulière. Or, ce qui paraît le plus probable, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, c'est que l'oxigène de l'eau forme de l'acide ozonique avec une partie de l'ozône, et que l'hydrogène forme de l'ammoniaque avec une autre partie. Avec trois atomes d'ozône et cinq atomes d'eau, il pourrait se former $Oz\ O_5$, $Oz\ H_4$ et $Oz\ H$. Si l'on admet l'existence de cette combinaison dans l'eau ozonisée ou dans la pluie d'orage, cela fait concevoir pourquoi les deux espèces d'eau acquièrent, par le mélange avec l'acide sulfurique, la propriété de détruire le bleu d'indigo et de décomposer l'iodure de potassium. En effet, l'acide sulfurique décomposerait l'ozonate d'ammoniaque, et l'acide ozonique devenant libre donnerait lieu, par l'effet de son oxigène, aux réactions dont il s'agit.

Ces derniers faits, ainsi que ceux que j'ai rapportés plus haut, font comprendre aisément la ressemblance que présentent dans leurs propriétés l'eau d'orage et l'eau ozonisée. Les décharges électriques qui ont lieu dans les nuages font dégager de l'ozône ; celui-ci rencontre partout de l'eau extrêmement divisée, sur laquelle il exerce une action chimique. La pluie d'orage doit donc se comporter exactement comme l'eau ordinaire qu'on a agitée avec de l'ozône obtenu par voie chimique. Ajoutons que lorsqu'on agite vivement de l'eau distillée avec une atmosphère imprégnée d'ozône, le mélange possède déjà au bout de peu de minutes la propriété de bleuir légèrement la colle d'épreuve quand on y verse de l'acide sulfurique.

Il est vraisemblable que toute l'eau qui tombe de l'atmosphère sous forme de pluie, de rosée, de grêle et de neige renferme cette combinaison d'ozône, mais en proportion diverse. Mes recherches sur ce point sont, sans doute, encore de trop fraîche date pour que je puisse confirmer cette assertion par des faits; mais toute l'eau que j'ai recueillie dans le cours de ce mois de juin (1844), m'a présenté la propriété en question. Il est vrai que, toutes les fois qu'il a plu dans cet espace de temps, l'atmosphère était orageuse ; et je dois ajouter que l'eau que j'ai recueillie au commencement d'un orage qui éclata immédiatement au-dessus de Bâle, bleuit plus fortement la colle d'épreuve que celle qui provenait de nuages d'où il n'était parti ni éclairs ni tonnerres.

Je ne dois pas non plus négliger de mentionner que de l'eau d'orage qui fut recueillie d'un tuyau de descente, bleuissait plus fortement la colle d'iodure de potassium que ne le faisait la même eau, qui était tombée en même temps, mais qui avait été recueillie en plein air dans de grands vases. Je ne saurais assigner une cause à cette différence ; mais il est possible qu'elle soit due à la circonstance suivante. Le toit de la descente duquel j'avais recueilli la première eau, est formé de tuiles ordinaires, et ces tuiles étant poreuses, il y pénètre à chaque pluie

une quantité sensible d'eau. Il a été dit plus haut que l'eau ozonisée artificiellement peut, aussi bien que l'eau d'orage, être évaporée sans que le principe qui bleuit la colle d'épreuve, et qui s'y trouve renfermé, soit détruit. Il doit donc rester à l'état solide dans les tuiles qui ont été exposées à la pluie. Mais comme il est en même temps soluble dans l'eau, la pluie suivante doit l'emporter avec elle, et ainsi l'eau qui découle du toit doit contenir, outre la combinaison d'ozône qui lui vient directement de l'atmosphère, celle aussi qui se trouvait fixée dans les tuiles. Un fait qui paraît être favorable à cette hypothèse, c'est que l'eau qu'on recueille du toit au commencement de l'orage, présente les réactions en question à un degré plus élevé que l'eau qu'on recueille plus tard. Au reste, pour ne conserver aucun doute au sujet de cette hypothèse, il faudrait traiter avec de l'eau distillée des tuiles qui ont été exposées à une pluie d'orage, et qui ont séché depuis, et voir si cette eau évaporée en grande partie et mélangée avec une petite quantité d'acide sulfurique, bleuirait la colle d'iodure de potassium. Quoique je n'aie pas encore fait cette expérience, je suis persuadé que le résultat serait de nature à confirmer mon hypothèse.

Quelque prononcée que soit la couleur bleue produite par l'eau d'orage qui découle d'un toit, le corps auquel cette réaction est due, ne se trouve qu'en quantité extrêmement petite dans ce liquide. Ce qui le prouve de la manière la plus décisive, c'est que, pour faire perdre à une quantité notable de l'eau en question la propriété de bleuir la colle d'épreuve, il suffit de la mélanger avec de très-petites proportions d'acide sulfureux étendu d'eau.

L'émission à l'air libre de l'électricité ordinaire par les machines étant accompagnée d'un dégagement d'ozône, on peut conjecturer que de l'eau qui aura été assez longtemps en contact avec de l'air ainsi ozonisé, acquerra des propriétés semblables à celles que possède l'eau d'orage. C'est ce qui a lieu

en effet. Une petite tasse de porcelaine, remplie d'eau distillée, et mise en communication avec le sol, a été exposée à l'action d'un pinceau électrique énergique et qui répandait une forte odeur, de façon que toute la surface de l'eau en éprouvait l'influence. Après avoir ensuite mis la machine électrique en mouvement pendant une demi-heure sans interruption, j'ai mélangé un peu d'acide sulfurique et de colle d'iodure de potassium avec l'eau qui avait été exposée à l'action du pinceau électrique, et j'ai trouvé qu'elle se colorait en bleu d'une manière prononcée. Cet effet n'était pas produit sans la présence de l'acide sulfurique, d'où résulte qu'il ne pouvait être dû ni à de l'ozône libre, ni à l'acide nitrique. La quantité d'ozône qui se dégage d'une pointe étant extrêmement petite, et se dispersant en grande partie dans l'air, on comprend qu'il faut une longue exposition à l'action du pinceau électrique pour que l'eau puisse présenter la réaction dont il s'agit.

Je dois ajouter encore que lorsqu'on agite de l'ozône chimique avec de l'eau distillée, il se développe une odeur particulière un peu différente de celle de l'ozône, et qui produit une espèce de démangeaison au palais. Si on aspire à plusieurs reprises cette atmosphère, on éprouve une difficulté sensible dans la respiration, et à la gorge quelque chose comme un étranglement. Je ne sais encore ce que peut être ce principe odorant ; peut-être que l'odeur qui accompagne quelquefois la chute d'une pluie d'orage a quelque rapport avec celle-là.

En terminant, je fais observer que si l'on agite une solution aqueuse d'ammoniaque avec de l'air ozonisé, ce dernier perd son ozône. Cependant cela n'a pas lieu à l'instant même; car une bande de papier humectée avec de la colle d'épreuve s'est encore colorée en bleu quand on l'a plongée dans de l'air qui avait été soumis pendant plusieurs minutes au traitement indiqué ci-dessus. Le vase dans lequel on a fait l'opération se remplit peu à peu de vapeur, et le liquide qui est resté au fond

présente la propriété de bleuir la colle d'épreuve, quand on l'a saturé avec de l'acide sulfurique. De nouvelles expériences nous feront connaître la ou les combinaisons qui se forment dans ces circonstances ; en attendant, il paraît résulter des faits qui précèdent que lorsqu'on fait réagir de l'ozône sur une solution aqueuse d'ammoniaque, il se forme une espèce de sel qui se décompose quand on y ajoute de l'acide sulfurique. Il se pourrait que cette combinaison fût de l'ozonate d'ammoniaque.

Je pourrais dès à présent faire connaître quelques faits intéressants sur certaines modifications que l'acide nitrique éprouve dans des circonstances données, et qui paraissent avoir une étroite liaison avec l'action de l'ozône ; mais je renvoie cette communication à un autre moment.

Réflexions finales.

Il est facile de concevoir, sans qu'il soit besoin de grands développements, que le fait de la composition de l'azote serait d'une grande importance non-seulement pour la chimie, mais aussi pour d'autres branches des sciences naturelles, en particulier pour la météorologie, la physiologie et même aussi pour la pathologie. Je vais essayer d'exposer en peu de mots, et aussi clairement qu'il me sera possible, mes idées sur les principaux rapports qui existent entre l'azote et les diverses séries de phénomènes dans lesquelles il jouerait un rôle important.

L'air atmosphérique renferme 79 pour 100 d'azote en volume ; on doit donc s'attendre que ce gaz y remplit des fonctions importantes, et prend une part essentielle aux phénomènes météorologiques qui ont lieu dans l'atmosphère.

Et d'abord, c'est dans ce composé d'hydrogène et d'ozône qu'il faut peut-être chercher la source principale de l'électricité atmosphérique. — Jusqu'à présent la cause de l'état électrique de l'air atmosphérique nous a été pour ainsi dire entiè-

rement cachée ; car l'hypothèse qui la place dans l'évaporation des eaux de la mer et des autres eaux dont la surface de la terre est recouverte, ne peut s'accorder que bien difficilement avec l'état actuel de nos connaissances en électricité. Sans rappeler que cette hypothèse repose sur cette notion erronée d'après laquelle l'électricité serait une substance particulière qui pourrait être absorbée par les corps pondérables, et transportée d'un lieu à un autre, à peu près comme des molécules salines par de la vapeur d'eau, il y a une série de faits qui ne permettent pas de l'admettre. Je n'en mentionnerai qu'un seul. Il n'est pas rare de voir des décharges électriques soudaines se produire, sous forme d'orages accompagnés de pluies considérables, dans l'intérieur des continents et à une grande distance de la mer ; non par des vents violents venant de la mer, mais au milieu d'un calme parfait. Comment croire que les énormes quantités d'électricité qui se produisent dans ces ouragans proviennent de l'évaporation des eaux de la mer, et en général de l'évaporation ?

Toutes les circonstances qui accompagnent un orage conduisent presque forcément à admettre que la source de l'électricité qui se dégage alors doit se trouver dans l'air atmosphérique, sans qu'il soit nécessaire de l'y faire arriver d'ailleurs.

Mais comment l'air acquiert-il l'état de tension électrique ? — Les récentes recherches du premier électricien de notre époque, Faraday, ont fait voir que la plus petite parcelle d'une substance quelconque ne peut passer à l'état électrique sans que l'état électrique contraire se développe dans une particule voisine. En d'autres termes, l'un des principes électriques ne peut pas se manifester sans l'autre ; la présence de l'électricité positive a pour conséquence celle de l'électricité négative. Nous devons donc aussi considérer les particules d'un corps électrisé positivement comme étant dans un état tel que son équilibre électrique est rompu, c'est-à-dire supposer que, dans ce corps, deux particules voisines ou les deux faces de chaque

particule se trouvent dans des états électriques contraires, en d'autres termes, à l'état de tension ou de polarisation électrique. Maintenant, la physique nous apprend que cette polarisation des particules des corps est produite par diverses causes : par des actions mécaniques, physiques et chimiques. C'est tout récemment que Faraday a démontré que ni la formation de la vapeur d'eau, ni sa condensation, ne peut être une source d'électricité, et qu'il en a conclu que l'électricité de l'atmosphère et des orages n'avait rien de commun avec l'évaporation de l'eau ou la condensation de la vapeur aqueuse, qui ont lieu dans l'atmosphère.

Mais où est donc la source de l'électricité de l'air et de celle qui se manifeste dans les orages? L'expérience nous apprend que, lorsqu'un électrolyte est mis en contact avec un corps qui a pour une de ses parties constituantes une affinité chimique sensiblement forte, ces substances se polarisent réciproquement sous le rapport électrique, sans qu'il en résulte nécessairement une décomposition chimique de l'électrolyte. Par exemple, si l'on met du chlore en contact avec de l'eau, le chlore exerce sur l'hydrogène de celle-ci une attraction chimique, par suite de laquelle les particules d'eau unies ensemble acquièrent la polarisation électrique : l'hydrogène de chacune de ces molécules d'eau passe à l'état de polarisation positive, et la molécule d'oxigène avec laquelle elle est unie passe à celui de polarisation négative, et cela sans que le chlore se combine avec l'hydrogène.

Or, si l'azote est formé d'ozône et d'hydrogène, et si, conformément à ce qui précède, cette combinaison doit être considérée comme un électrolyte, ainsi que l'acide hydrochlorique, on concevra aisément qu'une atmosphère qui renferme de l'oxigène outre ce composé d'ozône et d'hydrogène, présente la condition fondamentale pour la production d'une tension électrique dans les molécules dont elle se compose. L'action chimique virtuelle, ou l'attraction chimique que l'oxigène

exerce sur l'hydrogène de l'azote, a une influence électromotrice exactement comme le chlore qui est en contact avec de l'eau ou avec de l'acide hydrochlorique. Il résulterait de là que nous devrions considérer l'atmosphère comme une gigantesque pile voltaïque dont le circuit est ouvert, ou comme la réunion d'un nombre infini de couples moléculaires qui se trouvent sans cesse à l'état de tension électrique. La chaleur rendant plus intense l'activité chimique, et l'état thermométrique de notre atmosphère étant dans une variation continuelle, il en résulte aussi que l'état électrique de l'air est soumis à des variations sensibles ; cette assertion est confirmée par les recherches électrométriques relatives à l'atmosphère. On comprend de même aisément que, suivant les contrées, il doit y avoir des différences dans l'état de tension électrique de l'air : dans la zone torride cette tension doit être plus forte que dans les zones froides ; et dans le même lieu elle doit être plus forte en été qu'en hiver.

C'est donc à une cause chimique que nous attribuons l'électricité de l'atmosphère, c'est-à-dire, à l'attraction que l'oxigène exerce sur l'hydrogène de l'azote. Or, comme le mélange de l'oxigène et de l'azote constitue l'air, c'est-à-dire un corps très-subtil, il n'est pas possible que la tension électrique de l'atmosphère soit aussi considérable que celle que nous présentent des couples formés de substances plus denses, telles que les liquides et les solides.

On sait que l'intensité de la tension électrique ne peut pas s'accroître indéfiniment ; au delà d'un certain degré, il y a neutralisation des antagonismes électriques, ou ce qu'on appelle en physique une décharge. Dans l'atmosphère la charge et la décharge, la séparation et la neutralisation des principes électriques doivent avoir lieu sans interruption. L'air est-il réchauffé par l'action du soleil, la tension électrique s'accroît ; se refroidit-il, la tension doit diminuer, mais non sans qu'il y ait en même temps une neutralisation partielle des électricités

opposées que l'échauffement primitif avait séparées. De semblables décharges peuvent s'opérer incognito, pour ainsi dire, ou sans donner lieu aux phénomènes qui accompagnent de fortes décharges, tels qu'un dégagement de lumière. Mais elles peuvent aussi, quand elles ont une certaine force, devenir même sensibles à l'œil; et c'est dans cette classe de phénomènes que nous pourrions ranger celui qui a reçu le nom d'*éclairs de chaleur*, et qu'on observe dans les soirées sereines qui succèdent à des journées chaudes.

Mais d'où viennent les violentes décharges qui accompagnent le phénomène météorologique que nous appelons *orage*? Qu'est-ce que l'orage même, ce grand phénomène naturel?

Personne n'a encore observé d'orage par un ciel pur; on ne peut en imaginer un sans la présence de masses nuageuses; elles font partie essentielle de la notion d'orage. Il faut donc qu'elles jouent un rôle important dans ce phénomène. En quoi consiste ce rôle?

Les nuages ne sont vraisemblablement pas autre chose que des amas de molécules d'eau qui nagent dans l'air, semblables à la poussière qu'on voit s'agiter aux rayons du soleil. Chacune de ces molécules dissout une certaine quantité de l'air ambiant, c'est-à-dire d'oxigène et d'azote. Ainsi dissoutes et liquéfiées, ces parties élémentaires de l'atmosphère deviennent naturellement capables d'agir les unes sur les autres, avec plus d'énergie qu'elles ne le faisaient dans leur état aériforme. Il résulte de là que chaque molécule d'eau d'un nuage forme un couple plus actif que celui que formerait une molécule d'air de même grandeur. Maintenant, si ces couples nagent dans un air passablement chaud et saturé de vapeur aqueuse, il s'y développera nécessairement une tension électrique sensible qui, dans des circonstanees données, c'est-à-dire sous l'action d'une certaine température, peut s'accroître au point de déterminer des décharges appréciables à nos sens entre les molécules polarisées des nuages, c'est-à-dire, de donner lieu à des éclairs et à des tonnerres.

Tant que les conditions ci-dessus énoncées se trouvent exister, c'est-à-dire, tant qu'il y a des nuages et que leur température ne tombe pas au-dessous d'un certain degré, les phénomènes électriques qui frappent nos yeux et nos oreilles, c'est-à-dire les éclairs et les tonnerres, continuent naturellement à se produire, et l'orage cesse dès qu'il n'y a plus de nuages, ou dès que l'atmosphère subit un refroidissement notable. On comprend ainsi pourquoi les orages ont surtout lieu en été ; pourquoi aussi, même par le temps le plus chaud, il ne s'en produit point quand il n'y a pas de nuages. Nous concevons en même temps pourquoi les orages sont sans comparaison plus violents entre les tropiques que dans nos contrées ; nous reconnaissons aussi pourquoi il ne peut point y avoir d'orage dans les régions polaires, et ce qui fait que le nombre en diminue à mesure qu'on s'approche de l'un ou de l'autre pôle.

Lorsqu'il se fait de violentes décharges électriques dans les nuages, il doit y avoir en même temps décomposition d'une certaine quantité d'azote et formation d'eau ; en effet, l'hydrogène de l'azote se combine avec une proportion correspondante de l'oxigène de l'atmosphère. Ainsi qu'il est aisé de le comprendre, une masse nuageuse à orage peut donc accroître son volume par elle-même, ou déterminer la formation d'un nouveau nuage.

Quand on observe avec quelque attention un orage pendant sa durée, on arrive à se convaincre que cet accroissement a réellement lieu, et qu'il est intimement lié à la production des éclairs. Un autre fait déjà connu et que j'ai bien souvent observé, c'est qu'après l'apparition d'un éclair, la pluie tombe avec plus de force qu'auparavant. Or, ces deux phénomènes s'expliquent d'une manière aisée et naturelle si l'on admet qu'il y a formation d'eau, produite par les décharges électriques qui ont lieu dans l'atmosphère. Il résulterait donc de ces considérations, que l'eau qui tombe d'un nuage à orage n'est pas uniquement due à la condensation de la vapeur préexistante

dans l'atmosphère, mais qu'une partie est le produit des éléments constitutifs de l'air.

Les grandes pluies qui accompagnent de temps en temps de violents orages pourraient avoir pour cause une subite formation d'eau, car il est difficile de concevoir d'où une pareille quantité d'eau peut tout à coup provenir. Durant bien des jours l'air a été serein et passablement tranquille; il n'a point soufflé de vent d'ouest chargé de vapeur aqueuse. Or, voici qu'il se forme un nuage à orage, petit d'abord, mais qui s'accroît rapidement, et qui, par le temps le plus calme, acquiert une longueur de quelques lieues. Les plus terribles éclairs en traversent la masse sans interruption; la pluie commence à tomber, puis des masses d'eau se précipitent, avec assez d'abondance pour faire brusquement grossir les fleuves et produire de grands ravages. Ces grandes chutes d'eau sont accompagnées de vents locaux qui, pour l'ordinaire, se font sentir avant que l'orage éclate, et qui quelquefois acquièrent la violence d'un ouragan.

D'où vient cette violente agitation de l'air? S'il est vrai que les décharges électriques décomposent l'azote de l'atmosphère et donnent lieu à une production d'eau, il doit se former à l'intérieur du nuage orageux un espace où l'air se raréfie. Cela même doit donner naissance à l'ouragan avec toute l'irrégularité de son mouvement; et il sera d'autant plus violent que les décharges électriques seront plus considérables, d'autant plus violent qu'il se sera formé une plus grande quantité d'eau par la combinaison de l'hydrogène de l'azote avec l'oxigène de l'air.

L'expérience de Wollaston fait voir que l'électricité ordinaire même peut décomposer l'eau, de telle sorte qu'il se fait un dégagement d'hydrogène et d'oxigène là où se trouve la particule d'eau décomposée. Ce mode de décomposition diffère de l'électrolyse proprement dite, opérée par le courant. Maintenant si un éclair traverse un nuage orageux, il doit y avoir une décomposition non-seulement du composé d'hydrogène et

d'ozône, mais aussi d'eau : une partie de l'ozône, et la plus grande même, se répand sous forme de gaz dans l'air ambiant; une autre partie se combine avec l'oxigène devenu libre, et forme de l'acide nitrique ou ozonique; enfin une dernière partie peut s'unir à l'hydrogène et former de l'ammoniaque, qui, à son tour, donne naissance à un nitrate ou à un ozonate par sa combinaison avec l'acide nitrique, et qui tombe avec la pluie.

Il est un phénomène qui accompagne quelquefois l'orage, c'est celui de la production de masses considérables de glace ou la formation de la grêle. Ce phénomène a de tout temps, et à juste titre, attiré l'attention des physiciens, et c'est avec raison aussi que l'on s'est étonné que cette glace ne se forme que lorsque l'atmosphère a été beaucoup plus chaude qu'à l'ordinaire, c'est-à-dire, quand elle a présenté des circonstances dans lesquelles de la glace existante aurait dû se fondre. Comment, se disait-on, la chaleur peut-elle être la cause d'une production de glace? Pour répondre à cette question, l'on a mis en avant un grand nombre d'hypothèses; mais, de toutes celles à moi connues, aucune à beaucoup près ne donne une explication satisfaisante de la grêle. J'essaierai à mon tour d'exposer mes idées sur la cause de ce mystérieux phénomène.

La limite de hauteur au delà de laquelle il ne peut plus se former d'orage, est, si je ne me trompe, complétement inconnue. Tout ce que nous savons, c'est qu'on a vu des orages se former sur des montagnes à la hauteur de 6 à 8000 pieds au-dessus de la mer.

Supposons maintenant qu'une masse orageuse se trouve à la hauteur de 8000 pieds, et que la température régnante à la surface de la terre soit de 24°. Admettons, en outre, que la température de l'air décroisse d'un degré par 600 pieds de hauteur, il en résultera que notre nuage orageux se trouve dans une région dont la température ne peut pas être de beaucoup supérieure à 10°. Tant qu'il ne fait pas des éclairs dans ce

nuage, le volume d'air dans lequel il est suspendu, sera en équilibre avec les couches d'air situées au-dessus; mais cet équilibre devra se rompre dès qu'une décharge électrique aura lieu dans le nuage. Si l'azote présente une composition analogue à celle de l'acide hydrochlorique, il faudra quatre volumes d'azote pour un volume d'oxigène employé à former de l'eau, car, d'après notre supposition, ces quatre volumes d'azote renferment deux volumes d'hydrogène pour deux d'ozône. Or comme un volume d'oxigène et deux d'hydrogène donnent deux volumes de vapeur aqueuse, il ne restera, après la décomposition, que quatre volumes de substances gazeuses sur les cinq volumes d'air atmosphérique. Il résulte donc du fait seul de cette décomposition, que l'élasticité de l'espace atmosphérique dans lequel ce phénomène chimique a eu lieu a dû diminuer d'un cinquième. Comme une portion de l'ozône dégagé dans ces circonstances se combine soit avec l'hydrogène, soit avec l'oxigène, il ne se dégagera pas non plus deux volumes entiers d'ozône pour quatre d'azote décomposé; et cette circonstance doit encore tendre un peu à diminuer le volume d'air que comprend le nuage orageux. Ce dernier ne peut donc plus rester en équilibre avec les couches d'air situées au-dessus. Il faut que ces couches se précipitent dans l'espace raréfié; mais des hautes régions d'où elles viennent, elles apportent en même temps une température plus basse que celle du nuage. Des molécules d'air qui viendraient de 7 à 8000 pieds, auraient déjà la température de la glace. Le premier effet que produira cet air arrivant des régions supérieures sera donc de refroidir et d'augmenter la masse du nuage, c'est-à-dire, de produire un précipité d'eau; et si le même phénomène vient à se répéter, la température du nuage pourra s'abaisser jusqu'à zéro et même au-dessous. Alors les molécules d'eau qui composent le nuage devront se congeler en partie ou totalement; mais, comme en même temps elles sont sous l'influence du phénomène électrique qui se passe dans le nuage, elles se trouveront dans un état de po-

larisation électrique, et le côté positif d'une molécule de glace devra exercer une attraction sur le côté négatif de la molécule voisine. Il résulte de là que les molécules de glace qui sont produites doivent aussi se réunir peu à peu en groupes plus considérables, c'est-à-dire former la grêle. On conçoit sans peine que dans le cas où le petit noyau primitif de grêle a une température un peu inférieure à zéro, il peut recevoir encore un accroissement en déterminant la congélation des molécules d'eau avec lesquelles il vient à se trouver en contact. Il est aisé de voir que, toutes circonstances restant d'ailleurs les mêmes, la formation de la grêle devra se faire d'autant plus aisément que la température du nuage sera plus rapprochée de la température de la glace, c'est-à-dire que ce nuage sera à une plus grande hauteur. Nous avons vu qu'après chaque éclair le volume d'air du nuage éprouve une diminution considérable, diminution qui est d'un cinquième au moins. Or si cet espace, au moment où la raréfaction s'opère, n'était pas entièrement saturé de vapeur d'eau, une partie de l'eau qui s'y trouve devrait s'évaporer, et par conséquent il devrait y avoir absorption de calorique et abaissement dans la température. Mais comme l'espace occupé par un nuage est déjà saturé d'eau, qu'il s'en forme encore avant l'apparition et par le fait même de la production de l'éclair, il est difficile de concevoir comment, dans de semblables circonstances, une partie des molécules d'eau du nuage peut passer à l'état de vapeur.

Un fait extrêmement remarquable et singulièrement surprenant, c'est la résistance qu'un grain de grêle présente si longtemps à l'action de la pesanteur et la grosseur qu'il acquiert fréquemment avant sa chute. On sait que Volta a cherché à expliquer cette longue suspension dans l'air, par l'influence que des nuages électrisés exercent sur ces corps congelés, et en effet il n'est pas invraisemblable que l'électricité y soit pour quelque chose. On ne peut guère admettre qu'un grain de grêle de la grosseur d'une noix, par exemple, se forme tout d'un

coup, d'autant moins que sa structure intérieure paraît inconciliable avec cette hypothèse. Nous savons d'ailleurs, de la manière la plus positive, que l'influence de l'électricité peut tenir en suspension dans l'air des corps d'un poids sensible ; aussi pouvons-nous, en considérant l'énorme quantité d'électricité qui se trouve dans un nuage d'orage, supposer sans peine que, dans de telles circonstances, des grains de grêle d'un poids déjà passablement notable soient soustraits pendant quelque temps et dans certaines limites à l'action de la pesanteur.

Une circonstance digne d'attention, c'est qu'un orage qui produit de la grêle a pour l'ordinaire besoin d'un temps assez long avant d'éclater, et cela permet de concevoir la formation de gros grains de grêle. Il vaut aussi la peine de faire remarquer qu'en général il ne grêle pas de nuit. Il faut, pour que la grêle se forme, un certain degré de force dans la décharge électrique, et pour cela il faut que la température de la partie de l'atmosphère qui est occupée par des nuages, atteigne aussi un certain degré. Or la température est toujours plus basse de nuit en été, que, par exemple, l'après-midi ou dans la soirée ; la grêle devra donc tomber aussi le plus souvent au moment le plus chaud du jour.

Ce qui précède peut servir à faire comprendre pourquoi il grêle plus rarement dans les contrées du Nord que dans celles du Sud. Mais il est difficile d'expliquer pourquoi certains districts sont plus visités par la grêle que d'autres, lors même qu'il n'y a pas de différence entre leur température. En général les pays de montagnes sont plus fréquemment exposés que les plaines à ce fâcheux météore ; et chez nous, du moins dans le voisinage des montagnes, les orages sont plus violents que dans les pays plats. Cet état de choses tient très-vraisemblablement à ce que le voisinage de grandes masses de montagnes, dans lequel le nuage à orage développe de l'électricité par induction, réagit à son tour sur les phénomènes électriques que présente le nuage, et augmente ainsi la violence des décharges qui y ont

lieu. Mais plus celles-ci sont puissantes, plus aussi, et pour les motifs qui ont été exposés plus haut, la formation des grains de grêle devient possible. On peut donc dire en général, que toutes les circonstances qui augmentent la violence de l'orage, favorisent aussi la production de la grêle. Pour rendre celle-ci impossible, il faudrait donc faire communiquer en un grand nombre de points le nuage avec la terre, ce qui ne peut s'effectuer. D'après cela il est aisé de prononcer si les paragrêles, qui sont une espèce de paratonnerres, remplissent ou ne remplissent pas le but pour lequel ils sont établis.

Avant d'abandonner ce sujet, je dois encore dire quelques mots des phénomènes électriques, d'une violence extraordinaire, qu'on observe quelquefois à l'intérieur et au-dessus du cratère des volcans qui sont en activité. L'orage volcanique a, selon moi, exactement la même origine que l'orage atmosphérique ordinaire. Le gouffre du volcan laisse échapper des vapeurs d'eau mélangées avec de l'air ; arrivées en haut, les vapeurs se condensent en partie, une faible quantité d'air se dissout dans les molécules d'eau qui se dégagent, et celles-ci forment des couples dont l'activité est tellement accrue par l'effet de la chaleur, qu'ils produisent des éclairs, et que tous les phénomènes qui accompagnent un orage ordinaire se répètent au-dessus de l'ouverture du volcan.

D'après cela, je suis disposé à croire, qu'au moment où un mélange de vapeur aqueuse et d'air fait irruption dans des espaces froids, et où une partie de la vapeur aqueuse se condense, ce mélange devient réellement électrique ; il n'est pas impossible que les phénomènes électriques observés récemment par Armstrong et par Faraday dans la vapeur d'eau procèdent, en partie du moins, de la même origine que l'électricité atmosphérique et que l'électricité des orages.

Il résulte des considérations qui précèdent, que si l'air atmosphériqne n'était composé que d'oxigène ou d'azote, il ne s'y produirait point de phénomènes électriques ; et qu'il en serait

de même si, l'air étant constitué comme il l'est aujourd'hui, l'azote n'était pas en même temps un corps électrolytique. Il n'est pas impossible que même l'électricité de frottement obtenue par nos machines soit en relation intime avec la composition de l'atmosphère, et que sa source soit plutôt dans l'air que dans le corps mis en frottement. Le frottement ne serait-il indispensable à la production de l'électricité ordinaire que parce qu'il sert à réchauffer les molécules d'air?

On sait que Wollaston a construit une petite machine électrique, telle qu'on pouvait la placer et la mettre en activité dans des milieux différents. Quand cet appareil était entouré de gaz acide carbonique, il ne produisait pour ainsi dire point d'électricité; mais on en obtenait immédiatement, quand on transportait la machine dans de l'air atmosphérique. Il y aurait donc une grande importance, à répéter des expériences de ce genre, et en particulier à examiner si une machine électrique placée dans de l'oxigène pur ou de l'azote pur ne pourrait point fournir d'électricité.

C'est aussi un fait connu, que les métaux oxidables dont on recouvre les coussinets d'une machine en accroissent considérablement les effets, tandis que l'or, l'argent, etc., n'exercent à cet égard aucune influence sensible. Cela pourrait être dû à ce que le métal oxidable agit par polarisation, en exerçant une attraction chimique virtuelle sur l'ozône de l'azote. L'air pourrait ainsi être comparé à une dissolution d'acide hydrochlorique dans de l'eau ou même à de l'eau. Or de même qu'un morceau de zinc plongé dans un semblable liquide prend une polarisation négative, tandis que ce liquide prend une polarisation positive, ainsi l'amalgame de zinc prendrait avec la machine l'électricité négative, et l'air l'électricité positive. La chaleur développée par le frottement devrait, en outre, augmenter l'intensité de cette polarisation électrique. Dans cette manière de voir, l'électricité des machines serait due en partie à l'action de l'oxigène de l'air sur l'hydrogène de l'azote,

en partie à l'action chimique du zinc ou d'un autre métal oxidable sur l'ozône de l'azote ; en d'autres termes, cette source serait également de nature voltaïque.

Il se pourrait aussi que les résultats de l'expérience fondamentale de Volta si souvent mentionnée, résultats dont on ne peut contester l'exactitude, fussent intimement liés à la nature électrolytique de l'azote. Un couple de plaques zinc et cuivre, ou de deux autres métaux inégalement oxidables, se trouve, quand on le met en contact avec l'air, dans des circonstances tout à fait semblables à celles où il se trouve quand on le plonge dans un liquide électrolytique. Le métal oxidable possède de même le plus d'affinité pour l'ozône, et pour cette raison il doit prendre, quand il est en contact avec l'air, le même état voltaïque qu'il prendrait dans un liquide oxi-électrolytique ou chloro-électrolytique. Supposons encore, comme nous l'avons fait plusieurs fois, que l'azote fût remplacé dans l'air atmosphérique par l'acide hydrochlorique : il se produirait dans cet air-là tous les phénomènes électriques que présente notre machine électrique, ainsi que les phénomènes de contact de Volta qu'on obtient avec des métaux mis en contact.

Je me réserve de parler plus en détail, dans une autre occasion, de l'influence que l'air atmosphérique exerce sur les phénomènes de ce qu'on appelle électricité de contact. Cependant les observations que je viens de faire suffisent déjà pour laisser pressentir l'importance du rôle que l'atmosphère peut jouer dans toutes les circonstances où l'électricité est en jeu, et particulièrement dans certains phénomènes voltaïques.

Voici encore une observation ; elle est relative aux aurores boréales. Il n'est plus un physicien aujourd'hui qui hésite à les considérer comme des phénomènes électriques ; mais quant à savoir où et dans quelle circonstance elles prennent leur origine, on n'en sait réellement rien.

Une chose qui doit frapper dans ces phénomènes, c'est qu'ils appartiennent aux régions froides de notre globe ; aussi ne

pouvons-nous nous empêcher d'en conclure qu'une température basse doit être liée à la cause qui les produit. Les contrées polaires, patrie des aurores boréales, sont celles qui présentent les degrés de froid les plus considérables : là, par conséquent, l'atmosphère doit atteindre son maximum de densité ; là aussi les molécules d'oxigène de l'air doivent se trouver le plus rapprochées des molécules d'azote. Or si l'oxigène exerce une attraction chimique sur l'hydrogène de l'azote et que cette propriété s'accroisse d'autant plus que les molécules de ces deux gaz sont plus rapprochées, les grands froids polaires doivent produire sur l'air un effet semblable à celui qu'y détermine d'une manière secondaire une température élevée. Le froid augmentera d'une manière secondaire, de même que la chaleur, la tension électrique des molécules d'air. Or cette tension peut s'accroître au point de dépasser son maximum, c'est-à-dire, de donner lieu à une décharge. Des voyageurs racontent que dans les contrées polaires on voit flotter dans les airs d'innombrables parcelles de glace. Il n'est pas impossible que ce soit à la présence de ces petits corps qu'est essentiellement dû le dégagement de lumière qui accompagne les décharges électriques ; et en effet, si deux de ces parcelles glacées viennent à se rencontrer ou à s'attirer par celles de leurs faces qui sont douées d'électricité contraire, cela peut déterminer une étincelle.

En fait on remarque, pendant la durée d'une aurore boréale, une agitation continuelle dans les régions atmosphériques où elle a lieu ; or cet effet pourrait être produit par le fait de la neutralisation électrique des parcelles de glace polarisées. — Quand une aurore boréale a son siége dans les régions inférieures de l'atmosphère, on entend un bruit tout à fait semblable au sifflement électrique, et qui sans doute est dû à la même cause que ce dernier.

Une circonstance de la plus grande importance, c'est que, pendant la durée d'une aurore boréale qui a pour siége les ré-

gions inférieures de l'atmosphère, il se dégage une odeur semblable à celle qui est produite dans les décharges électriques et particulièrement lorsque la foudre tombe. Cette odeur provient selon moi d'un dégagement d'ozône, et je suis intimement persuadé que de la colle d'iodure de potassium, placée au milieu d'une aurore boréale semblable, serait aussi fortement colorée en bleu qu'elle l'est quand on l'expose à l'action de la pointe d'émission d'une forte machine électrique. Il vaudrait donc la peine que les savants qui auront plus tard l'occasion d'observer une aurore boréale dans les régions polaires, fissent usage de ce réactif qui accuse la présence de l'ozône libre.

Un fait également bien frappant, c'est celui de ces parcelles de glace qui flottent çà et là en si grand nombre dans l'atmosphère des régions polaires. D'où peut provenir l'eau nécessaire à leur formation? Serait-elle apportée par des courants d'air venant des pays chauds? Je ne veux point mettre en doute qu'une petite quantité d'eau ne puisse arriver ainsi jusque dans le voisinage des pôles, ni que des parcelles de glace ne puissent être enlevées dans l'atmosphère par la force mécanique du vent. Toutefois il me paraît plus aisé d'expliquer la présence de ces dernières, en admettant que l'eau nécessaire à leur formation provient de l'influence exercée sur les éléments gazeux de l'air par les décharges électriques qui produisent les aurores boréales. On doit donc, selon moi, envisager ces grands phénomènes comme de véritables orages polaires, qui prendraient sans aucun doute un caractère terrible et seraient accompagnés d'éclairs et de coups de tonnerre d'une violence extrême, si, vers les pôles, de l'eau à l'état liquide pouvait exister sous forme de nuages.

On pourrait taxer de précipitation les simples conjectures que je hasarderais dans ce moment sur le rôle physiologique et pathologique que l'ozône joue dans l'économie de la nature animée. Cependant il me semble, qu'en vue des recherches qui restent à faire, il y aurait peut-être quelque utilité à énoncer

dès à présent certaines conjectures qui peuvent se réaliser, et qui pourront nous mettre sur la voie de nouvelles recherches.

Si l'azote est réellement formé d'hydrogène et d'ozône, son rôle dans la respiration pourrait bien ne pas être aussi indifférent qu'on l'a cru jusqu'aujourd'hui. Il serait possible que l'azote introduit de l'atmosphère dans l'organisme, en même temps que l'oxigène, subît une décomposition, et que l'ozône formât de nouvelles combinaisons avec quelques substances élémentaires, qui sont nécessaires à la formation de matières organiques. Ce n'est pas assurément sans utilité et dans le but unique de raréfier l'oxigène, que l'azote a été mélangé à l'air atmosphérique ; et l'on doit admettre que, dans certaines classes de phénomènes, ce corps joue un rôle aussi important et aussi actif que l'oxigène.

Je ne puis m'empêcher d'appeler l'attention sur cette particularité remarquable de la composition de l'air, savoir que cinq parties en volume renferment juste la quantité d'oxigène et d'azote qu'il faut pour former deux volumes de vapeur aqueuse et deux volumes d'ozône, dans la supposition que l'azote est analogue au gaz acide hydrochlorique dans sa composition, c'est-à-dire qu'un volume d'azote se compose d'un demi-volume d'ozône et d'un demi-volume d'hydrogène. Ce rapport n'est certainement pas l'effet du hasard ; il a été établi en vue des phénomènes météorologiques et physiologiques. L'eau qui se forme dans l'acte de la respiration ne pourrait-elle pas, en partie du moins, provenir d'une décomposition de l'azote, opérée par l'oxigène qui pénètre en même temps dans les poumons? Si l'on parvient un jour à déterminer plus exactement la nature de l'ozône et ses rapports chimiques, les physiologistes ne manqueront pas, pour arriver à résoudre la question ci-dessus, de chercher à fixer d'autres points, tels que les rapports qui existent entre l'ozône et l'organisme, entre l'ozône et les combinaisons azotées.

Si la composition de l'azote est telle que les résultats de mes

expériences me portent à le conclure, il en résulte nécessairement qu'il doit y avoir sans cesse de l'ozône libre dans l'atmosphère, et en quantité d'autant plus considérable que les neutralisations électriques se font dans l'air avec une activité plus grande. D'ailleurs il a été dit plus haut que l'aspiration de l'ozône produit sur l'organisme des effets semblables à ceux qui sont dus au chlore. Or, supposons que l'atmosphère conserve un peu longtemps une disposition orageuse; ne serait-il pas possible que les hommes qui seront exposés à son influence fussent pris de catarrhe, ou qu'il en résultât des maladies du même genre, comme on l'admet, je crois, pour la rougeole? Il y a bien longtemps, si je ne me trompe, que l'on attribue à l'influence d'agents renfermés dans l'atmosphère l'apparition de certaines maladies endémiques; or, l'ozône libre pourrait être un agent de cette espèce.

Si des recherches ultérieures viennent confirmer l'exactitude de cette supposition, on devra pouvoir détruire cet agent au moyen de légères fumigations de soufre, c'est-à-dire, en répandant dans l'atmosphère de l'acide sulfureux ou du gaz acide hydrosulfurique.

Un point qui mériterait aussi d'être examiné, serait de savoir si des hommes qui séjournent dans un air imprégné d'acide sulfurique ou de gaz acide hydrosulfurique, tels que ceux qui se livrent à certains travaux métallurgiques, au grillage des minerais de soufre, etc., ou qui vivent dans le voisinage de sources sulfureuses, si, dis-je, ces hommes-là sont moins fréquemment attaqués par des maux de la nature du catarrhe que ceux qui respirent un air ordinaire.

S'il y a de l'ozône libre dans l'atmosphère, de petites quantités de cette substance pourront déjà exercer une influence sensible sur les phénomènes physiologiques du règne végétal. On assure, si je ne me trompe, qu'une faible proportion de chlore dans l'eau a le pouvoir de rendre la faculté de germer, dans des circonstances ordinaires, aux semences qui l'ont perdue. Or,

ne se pourrait-il pas que toute germination demandât la présence d'une substance semblable au chlore, et que l'eau de pluie dût en partie son action fécondante à une faible proportion d'ozône? L'ozône libre répandu dans l'atmosphère n'exercerait-il pas une excitation continuelle sur l'économie végétale, et ne produirait-il pas, en vertu de sa nature chimique, c'est-à-dire par son affinité pour l'hydrogène, des phénomènes chimico-physiologiques dans la plante vivante?

Ces questions ne me paraissent point être sans importance; elles méritent plutôt, selon moi, d'attirer l'attention. Quelquefois aussi une trop grande proportion d'ozône dans l'atmosphère pourrait nuire aux végétaux.

Dans plusieurs contrées, les campagnards croient généralement que l'approche d'un orage ou l'éclair nuit à la floraison des plantes. Je ne veux pas décider si cette opinion repose sur un fait certain; cependant, dans l'état actuel de la science elle ne peut se justifier. Mais la question prend un autre aspect si nous admettons que l'éclair fasse dégager de l'ozône dans l'atmosphère. Si ce corps a la nature du chlore, on ne trouvera plus impossible que les fleurs d'un arbre, dans le voisinage duquel ont lieu de grandes décharges électriques, aient à souffrir de l'action de l'ozône qui se dégage dans cette circonstance. De même que l'ozône peut produire un catarrhe, il peut bien aussi désorganiser une tendre fleur; et il se pourrait encore qu'on dût attribuer à l'ozône d'autres phénomènes maladifs, que nous observons quelquefois dans les végétaux.

Avant de terminer ces réflexions, qu'il me soit permis d'ajouter quelques mots sur l'importance qui résulterait, même pour la chimie, de la certitude que l'azote serait un corps composé. En effet, si ce corps est formé d'ozône et d'hydrogène, nos idées sur la composition des nombreuses combinaisons d'azote devront subir des modifications essentielles, et la manière d'envisager ces combinaisons devra changer en entier.

Depuis longtemps le caractère d'indifférence de l'azote isolé

est l'objet de l'étonnement des chimistes, qui avaient lieu d'être surpris, en outre, de ne pouvoir jamais combiner directement ce corps avec aucune autre substance élémentaire, l'azote devant toujours être à l'état naissant pour qu'une combinaison semblable puisse avoir lieu.

Ce qui étonnait encore, c'était que, malgré ce caractère d'indifférence, l'azote formât des combinaisons dont les propriétés sont si tranchées et de nature si contraire. Il suffit pour cela de nommer l'acide nitrique et l'ammoniaque, deux combinaisons qui, sous le rapport chimique, offrent le contraste le plus prononcé.

Un fait qui n'a point non plus échappé aux chimistes, c'est que l'acide nitrique présente, dans sa composition et ses propriétés chimiques, une grande ressemblance avec les oxacides du chlore, du brôme et de l'iode, ressemblance qui se reproduit encore dans les sels que ces acides forment avec les oxides métalliques.

Or, quelle différence entre l'azote d'un côté, et le chlore, le brôme et l'iode de l'autre! L'azote ne se distingue que par des propriétés négatives; ces substances, au contraire, présentent toutes le caractère le plus positif et un grand accord dans leurs rapports chimiques, particulièrement en ce qui concerne leurs combinaisons avec les autres substances élémentaires. L'azote devait donc être considéré comme la plus grande anomalie qui existât dans le domaine de la chimie, et l'on ne pouvait pas, même approximativement, indiquer pourquoi certaines combinaisons de l'azote ont une ressemblance si frappante avec celles du chlore, etc.

Mais si l'azote, au lieu d'être un élément, est un composé d'ozône et d'hydrogène, alors ces prétendues anomalies disparaissent, on reconnaît, au contraire, la plus belle analogie entre l'acide nitrique et l'acide chlorique, entre les nitrates et les chlorates; enfin, et surtout, on s'explique sans peine l'indifférence chimique de l'azote, tandis qu'on ne pouvait en rendre compte auparavant.

A la vérité, la combinaison de l'ozône avec l'hydrogène et celle du chlore, du brôme et de l'iode avec ce même gaz, présentent une très-grande différence. L'azote n'est pas un acide, tandis que les combinaisons des radicaux que j'ai nommés sont des acides excessivement énergiques. Cependant cette différence peut n'être qu'apparente, c'est-à-dire qu'elle peut tenir à ce que la combinaison d'ozône et d'hydrogène est insoluble. S'il en était de même de l'acide hydrochlorique, par exemple, et que ce gaz conservât en même temps toutes les propriétés que nous lui connaissons, l'effet qu'il produirait sur les couleurs végétales et sur notre odorat ne surpasserait pas d'une quantité sensible celui qui est dû à l'azote. N'y a-t-il pas de véritables oxacides qui n'ont ni la saveur acide, ni la propriété d'altérer les couleurs végétales, et qui sont privés de ce double caractère, uniquement parce qu'ils sont insolubles dans l'eau? L'insolubilité de l'azote paraît tenir à la faible solubilité de l'ozône, celle-ci n'étant guère supérieure à la première, ainsi que mes expériences me l'ont appris.

En effet, pour que la combinaison d'ozône et d'hydrogène jouât dans l'économie de la nature le rôle qui lui est réellement assigné, il fallait qu'elle ne pût pas se dissoudre dans l'eau aussi aisément que l'acide hydrochlorique, sans quoi l'ordre de choses actuellement existant sur notre globe aurait été évidemment impossible. Si l'azote est réellement composé d'une manière semblable à l'acide hydrochlorique, et qu'on admette comme exactes les analyses des combinaisons de l'azote avec l'hydrogène, et de l'azote avec l'oxigène, voici la forme que prennent ces deux séries de combinaisons.

Combinaisons hydrogénées.

1 atome ozône	+ 1	atome hydrogène	=	azote.
» »	+ 2	» »	=	inconnue.
» »	+ 3	» »	=	amide.
» »	+ 4	» »	=	ammoniaque.
» »	+ 5	» »	=	ammonium.

Combinaisons hydro-oxigénées.

1 atome ozône	+ 1 at. hydrogène		+ 1 at. oxigène		= oxidule d'azote.
1	»	+ 1	»	+ 2	»	= oxide d'azote.
1	»	+ 1	»	+ 3	»	= acide nitreux.
1	»	+ 1	»	+ 4	»	= acide hyponitrique
1	»	+ 1	»	+ 5	»	= acide nitrique.

Quant à ces dernières combinaisons, l'atome d'hydrogène qu'elles contiennent présenterait sans doute quelque chose de bizarre; mais il faudrait bien admettre que ce gaz s'y trouve, puisque l'exactitude des analyses des divers degrés d'oxidation de l'azote ne permettrait aucune autre hypothèse.

On pourrait supposer avec une grande vraisemblance, que l'ozône peut former avec l'oxigène seul un ou même plusieurs acides; et peut-être s'en produit-il un de ce genre dans la réaction de l'ozône sur une solution aqueuse de potasse. En effet, si la manière dont l'ozône agit était analogue à celle du chlore, il devrait se former dans ce cas de l'ozonure de potassium et de l'ozonate de potasse; et réellement les réactions que manifeste une solution de potasse traitée avec de l'ozône, réactions dont nous avons parlé plus haut, sont plutôt favorables que contraires à cette hypothèse. Cependant, dans l'état actuel des choses, il serait bien prématuré de vouloir soutenir une hypothèse tant sur ce point que sur les deux séries de combinaisons ci-dessus mentionnées, et en général sur la composition d'autres substances composées renfermant de l'azote.

Avant de conclure, il me sera permis, sans doute, d'ajouter encore quelques observations qui ne paraîtront pas, j'espère, hors de propos. Malgré l'activité avec laquelle on s'applique de nos jours aux travaux chimiques, et l'importance des résultats que ce zèle a produits, il me semble que l'on s'est jeté trop exclusivement dans certaines directions, tandis qu'on donne trop peu d'attention à d'autres parties de cette science. Qui oserait nier que les substances organiques présentent à l'investigation un champ d'une richesse extrême? Qui mettrait

en doute qu'il y ait encore là une immense moisson à faire? Mais il est des sujets de recherches qui ne doivent pas non plus être négligés, si l'on veut voir reculer d'une manière notable les limites de la science. Il nous faut, ce me semble, connaître plus exactement encore les phénomènes chimiques les plus simples, pour arriver ensuite à en saisir de plus compliqués. Il nous faut comprendre, beaucoup mieux que nous ne le faisons encore, les phénomènes qui servent de base à la chimie inorganique, avant de nous hasarder à expliquer ceux d'un ordre supérieur.

Rechercher des substances particulières dans les plantes et les animaux, les bien préparer, déterminer leurs rapports chimiques avec d'autres corps, les métamorphoser et les faire entrer dans des combinaisons chimiques, les brûler, et trouver à l'aide de l'expérience et du raisonnement leurs formules de composition : ce sont là sans doute des opérations d'une extrême importance, nécessaires même, et qui ne peuvent que favoriser les progrès de la science. Mais il est, dans le domaine de la chimie inorganique, un bien grand nombre de points dont la connaissance serait pour le moins aussi nécessaire.

La chimie compte encore au moins cinquante-six corps qui passent pour élémentaires, bien que l'on s'accorde généralement à présumer qu'ils ne le sont pas tous. Or si les chimistes s'efforcent d'augmenter le plus possible le nombre des combinaisons entre ces substances, d'en déterminer la composition et les propriétés, n'y aurait-il pas convenance aussi à ce qu'ils tentassent la voie inverse et cherchassent à diminuer cette légion d'éléments. Mais la plupart d'entre eux éprouvent une espèce de crainte, et comme une honte, à poursuivre en silence des recherches de ce genre.

C'est à tort, selon moi, que l'on redoute de semblables travaux, ne fût-ce que parce qu'on se prive ainsi à l'avance de la faculté de faire des recherches qui sont incontestablement au nombre des plus intéressantes que la chimie puisse offrir. En

effet, les expériences préliminaires qu'elles appellent à faire, exigent déjà que l'on connaisse et étudie dans le plus grand détail les caractères particuliers du corps dont on s'occupe, ses relations et ses analogies avec d'autres substances ; qu'on imagine des méthodes d'analyse qui exigent l'emploi de toutes les forces de la réflexion, et qui conduisent toujours, sinon au but qu'on a en vue, du moins à un résultat de quelque valeur scientifique. La plupart des chimistes reconnaissent très-volontiers que le phosphore, l'arsenic et l'azote, par exemple, peuvent être des corps composés. Or ne suffirait-il pas de cette seule possibilité pour encourager à tenter, par tous les moyens connus, d'opérer la décomposition de ces corps, à inventer de nouveaux procédés pour atteindre ce but? Mais, dans ces derniers temps, quelles recherches un motif semblable a-t-il fait entreprendre? Quelles expériences a-t-on faites en vue de décomposer un corps qui passait pour simple? Aucune, à ma connaissance.

Quand un savant, après avoir pendant dix années usé en vain sa peine à un semblable travail, réussirait enfin à atteindre le but de ses efforts, il aurait peut-être plus fait pour les progrès de la science que si, aux milliers de combinaisons déjà connues, il en avait, pendant le même intervalle de temps, ajouté quelques centaines de nouvelles.

Quel profit la science n'a-t-elle pas retiré des efforts de Davy pour décomposer des substances prétendues simples! Or ce profit n'eût certes pas été obtenu, si le chimiste anglais, partageant la crainte dont je viens de parler, eût reculé devant la pensée que les alcalis pouvaient ne pas être des corps simples. Le temps de semblables découvertes serait-il donc passé? Ne pourrait-on plus espérer de conquêtes dans la brillante carrière ouverte par le savant qui a découvert les métaux alcalins? Je ne pense pas que rien nous oblige à croire à un si décourageant avenir.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE MÉMOIRE DE M. SCHOENBEIN, RELATIF A LA PRODUCTION DE L'OZÔNE PAR VOIE CHIMIQUE.

Mr. Schœnbein est le premier qui ait attiré l'attention des savants sur l'odeur remarquable qui accompagne le dégagement de l'oxigène au pôle positif de la pile, dans le phénomène de la décomposition de l'eau opérée par un fort courant électrique. Il a constaté certaines propriétés dans le gaz qui possède cette odeur, telles que celles de polariser négativement des lames de platine ou d'or, de blanchir un papier teint de lakmus, de bleuir un mélange d'iodure de potassium et d'amidon, etc. Il a établi une identité remarquable entre l'odeur qu'on obtient par la décomposition de l'eau, et celle que produisent l'émission de l'électricité par les pointes du conducteur d'une machine électrique, la décharge de la foudre, l'action du phosphore sur l'air atmosphérique et quelques autres procédés chimiques. Cette identité très-facile à constater par l'odorat, il la fait reposer en outre sur les propriétés analogues que possèdent les gaz et l'eau qui sont imprégnés de cette odeur par l'un quelconque des procédés ci-dessus décrits. Voilà, en peu de mots, le résumé des faits intéressants et nombreux que Mr. Schœnbein décrit dans son Mémoire; ajoutons-y que les réactions qu'exercent les corps imprégnés de l'odeur sont tout à fait du même genre que celles qu'exercent le chlore, le brome et l'iode.

Voici maintenant les conséquences que le savant physicien bâlois tire de ses expériences.

L'odeur est due à un principe odorant qu'il nomme *ozône;* ce principe est une substance gazeuse analogue au chlore; elle se trouve dans l'azote combinée avec l'hydrogène, en sorte que l'azote est un ozonide d'hydrogène comme l'acide hydrochlorique est un chloride d'hydrogène. Dans la décomposition vol-

taïque de l'eau c'est la petite proportion d'azote dissoute dans l'eau, qui est décomposée : l'ozône se rend au pôle positif avec l'oxigène, et l'eau et l'hydrogène au pôle négatif avec l'hydrogène de l'eau. Dans les décharges des machines électriques et de la foudre, c'est l'azote de l'air atmosphérique qui est décomposé. Le phosphore, dans sa combustion lente, dégage l'ozône de l'azote par une action catalytique de contact, analogue aux actions du même genre. L'auteur appuie l'exactitude de ses explications sur le fait que la présence de l'azote est nécessaire dans tous les cas où l'on obtient le principe odorant. Remarquons en passant que celle de l'oxigène l'est aussi, car nous n'avons pas pu trouver dans le travail de Mr. Schœnbein une seule expérience dans laquelle il ait obtenu le principe odorant uniquement avec l'azote sans qu'il y eût de l'oxigène présent.

L'opinion de Mr. Schœnbein, qui consiste à regarder l'azote comme un corps composé analogue aux acides hydrochlorique, hydrobromique, et à enrichir la chimie d'un nouveau corps simple analogue au chlore, au brôme, etc., est une hypothèse possible ; mais ce n'est qu'une hypothèse, puisqu'il n'a pas encore pu parvenir à isoler l'ozône et à constater ainsi son existence et ses propriétés d'une manière directe. Il est donc impossible de se prononcer actuellement sur l'idée fondamentale de Mr. S. Nous nous permettrons donc seulement de lui soumettre quelques observations.

On est un peu surpris de trouver à l'azote, corps éminemment neutre, une composition analogue à celle des acides hydrochlorique, hydrobromique, etc., et de lui découvrir pour radical un principe aussi actif que l'ozône.

On est frappé de ce fait, qu'on ne peut retirer l'ozône d'aucune des combinaisons dans lesquelles entre l'azote, telles que l'ammoniaque, les composés de cyanogène, etc., et que ce n'est qu'avec l'azote gazeux, si difficilement soluble, qu'on peut obtenir ce principe.

On se demande pourquoi la présence de l'oxigène est aussi

indispensable que celle de l'azote à la production de l'ozône, et si cela n'indiquerait pas que l'odeur que l'auteur attribue à l'ozône, est due à quelque combinaison d'oxigène et d'azote s'opérant sous l'influence du courant au pôle positif où l'un des éléments, l'oxigène, est à l'état naissant et où l'autre est dissous, sous l'action des décharges électriques ou de la foudre dans l'air atmosphérique, sous celle du phosphore dans un ballon plein d'air. Cette idée séduit au premier abord, d'autant plus que les réactions chimiques de l'ozône et celles de l'acide nitreux ont beaucoup de rapport; mais il faut convenir qu'il y a une assez grande différence dans l'odeur.

On se demande enfin si l'on est bien à l'abri, dans toutes ces expériences, de la présence des substances étrangères, s'il n'y a point d'impuretés dans les corps qu'on emploie. L'air et l'eau sont bien difficilement complétement dépouillés de substances organiques dont la présence pourrait donner lieu, sous l'action de l'électricité ou sous celle de quelques procédés chimiques, au dégagement d'un principe odorant.

Voilà quelques observations que je me permets de soumettre à Mr. Schœnbein, en reconnaissant que ses nouvelles recherches montrent qu'on ne peut, comme je l'avais cru, attribuer l'odeur qu'il a étudiée à l'émission de particules métalliques très-divisées, provenant du métal de l'électrode positif. Mais en même temps, sans nier la possibilité de la conjecture mise en avant par le savant Bâlois, je ne puis encore la regarder comme prouvée. Je dirai plus : elle me paraît présenter a priori, telle du moins que l'auteur l'expose, quelques objections que j'ai indiquées partiellement en passant, et qui sans être insurmontables, je le reconnais, ne sont pas cependant sans force. Attendons ainsi, avant de nous prononcer, les recherches ultérieures par lesquelles Mr. Schœnbein ne manquera pas de compléter incessamment avec sa sagacité ordinaire, le travail intéressant qu'il publie aujourd'hui.

A. DE LA RIVE.

SUR LES FIGURES ÉLECTRIQUES, par G. KARSTEN. (*Poggend. Annal.*, t. LX, p. 1.)

Depuis la publication de mon dernier Mémoire sur les figures électriques[1], on a vu paraître de différents côtés des travaux relatifs à la production de ces figures au moyen de méthodes diverses. Mr. le professeur Moser a exposé sa théorie dans un écrit spécial; les idées de MM. Hunt et Knorr ont été consignées dans ces Annales, et celles de MM. Fizeau, Daguerre, Masson et Morren dans les Comptes rendus[2]. Qu'il me soit permis de les passer successivement en revue. Mais auparavant je vais faire connaître quelques nouveaux faits qui se sont présentés à moi dans la suite de mes recherches.

Pour parvenir à reconnaître le mode de production des images, il m'a paru très-important d'étudier avec soin la manière dont les surfaces métalliques sont modifiées. J'espérais ainsi arriver à résoudre la question relative à la force à laquelle on doit attribuer la production des images : si c'est à la lumière, à la chaleur ou à l'électricité. D'abord j'ai examiné au microscope la plaque (de laiton ou de cuivre le plus souvent) sur laquelle il s'était formé une image au moyen de l'électricité ; mais je n'ai pu y découvrir absolument aucune différence entre le lieu de l'image et les autres parties de la plaque. Quand j'y ai projeté mon haleine, il m'a semblé d'abord que l'image des parties en relief ne s'humectait pas ; mais un examen plus attentif m'a fait apercevoir qu'il s'était déposé sur ces parties une couche humide beaucoup plus légère que sur les autres. Vue au microscope, l'haleine se montre comme formée d'une grande

[1] Voyez *Arch. de l'Électr.*, année 1842 (t. II), p. 647.
[2] Voyez aussi *Bibl. Univ.* et *Arch. de l'Électricité*.

quantité de gouttes distinctes, qui adhèrent à la plaque à peu près comme une goutte de mercure adhère à une plaque d'argent.

L'haleine fine se distingue de l'haleine ordinaire en ce que les petites gouttes dont elle est formée sont plus fondues entre elles, et présentent presque une surface aqueuse continue. Ainsi la formation des images a eu pour effet d'augmenter l'adhésion de la vapeur. Cette propriété des images électriques, de condenser plus fortement les vapeurs, m'a conduit à supposer qu'il se passe là quelque chose de semblable à ce que présente une lame de platine qui sert de pôle positif dans une pile galvanique, c'est-à-dire par conséquent que les plaques deviennent complétement nettes aux endroits où se trouvent les images. J'ai bien, il est vrai, fait des expériences avec des plaques de métaux différents, afin de voir si elles ne pouvaient pas condenser des gaz ; mais je n'ai obtenu aucun résultat. Toutefois je pense qu'on réussirait avec des lames de platine (métal dont je n'ai pas fait usage dans mes expériences).

J'ai essayé de découvrir un moyen, autre que la condensation des vapeurs, avec lequel on pût rendre les images visibles, et qui pût surtout servir à distinguer les images positives des négatives. En effet les vapeurs condensées, l'haleine surtout dont l'usage est le plus commode, trompent souvent relativement à la nature de l'image, qui paraît tantôt positive, tantôt négative, suivant la position dans laquelle elle est placée relativement à la lumière incidente. Or, comme la différence dans la condensation des vapeurs met en évidence une différence considérable entre la plaque et le lieu où est l'image, j'ai eu l'idée d'examiner quelle influence cette différence peut avoir sur une action chimique. Dans ce but j'ai plongé dans une faible solution de sulfate de cuivre, deux plaques de laiton sur lesquelles on avait produit des images électriques ; puis j'ai mis ces plaques en communication avec les pôles d'un couple voltaïque. Au bout de peu de temps les deux images ont été pro-

duites sous l'action de procédés opposés. Au pôle positif, l'image était faible ; mais du moins on pouvait reconnaître assez bien, que les places qui correspondaient aux parties en relief de l'objet avaient été plus fortement attaquées par l'acide, à peu près autant que le bord de la plaque tourné du côté de l'autre pôle. Au pôle négatif, au contraire, le cuivre s'était déposé sur le lieu du dessin en aussi grande abondance que sur le bord de la plaque ; il s'était donc formé une image rouge sur un fond jaune. On voit ainsi, d'après ce nouvel exemple et d'après l'accélération de l'action à l'endroit où se trouve l'image, que la formation des images a pour effet d'opérer en quelque façon le nettoiement de la plaque.

Cette différence d'action étant reconnue, j'ai pu dès lors procéder avec beaucoup plus de simplicité. J'ai plongé dans une dissolution très-étendue de nitrate d'argent, une plaque de laiton sur laquelle se trouvait une image électrique. L'argent s'est précipité aussitôt, et avec plus d'abondance sur le dessin que sur le fond de l'image. Quand j'ai essuyé la plaque, j'ai souvent vu paraître l'image, et quelquefois celle-ci a présenté une couleur blanche de métal, qui était due à de l'argent réduit, et qui faisait un très-joli effet sur le fond jaune de la plaque de laiton. J'ai obtenu, avec des plaques de zinc et du sulfate de cuivre, le même résultat qu'avec des plaques de laiton ou de cuivre et du nitrate d'argent. Jamais je n'ai vu se produire dans la pile des images négatives proprement dites, c'est-à-dire des images sur lesquelles le dessin n'eût point du tout été attaqué. Au contraire, quand on fait usage de vapeurs, les images sont presque toujours négatives ; et elles ne sont positives que lorsqu'on emploie différentes espèces de vapeur ; quand, par exemple, on commence par exposer une plaque aux vapeurs d'iode, puis à celles du mercure, ces dernières attaquent fréquemment les parties sur lesquelles les vapeurs d'iode ne s'étaient pas déposées.

Maintenant les images de Moser présentent, soit dans la pile,

soit lors de la réduction du métal d'une solution, les mêmes propriétés que les figures électriques. Nous devons donc en conclure que les forces qui engendrent les figures électriques et les images de Moser, produisent la même modification sur la surface des corps. Il en est de même pour les images dont la production est accélérée par la chaleur; mais je ne mets dans ce nombre ni celles de Knorr ni celles de Hunt, qui n'ont aucun rapport avec celles-là, mais qui doivent être attribuées à des actions toutes différentes, ainsi que nous le verrons plus tard. Il y aurait de l'intérêt à savoir si les figures de Daguerre présentent les mêmes circonstances. Tenons-nous au principe que je viens d'établir, et continuons à comparer entre elles les images de Moser et les figures électriques.

Quand on pose sur une plaque de métal une feuille de mica, et sur celle-ci une médaille, il ne se forme point d'image de Moser, même après plus de six semaines, comme je l'ai vu dans une de mes expériences. La feuille de mica présentait une très-belle image, mais il n'y avait pas de trace visible de la médaille sur la plaque de métal. Or si c'était une couleur d'une réfrangibilité quelconque qui fût la cause des figures de Moser, il devrait nécessairement se former une image, car le mica est perméable à toutes les couleurs, il laisse passer la lumière blanche; par conséquent la lumière invisible diffère de tous les rayons colorés de la lumière par autre chose que sa réfrangibilité. En tout cas nous pourrons déduire de l'expérience avec la feuille de mica, que les figures électriques ne sont pas dues à la lumière invisible, à moins que l'électricité ne renferme la lumière invisible à un degré extrêmement intense. Ce n'est sûrement pas la lumière électrique qui engendre les images, car il éclate continuellement des étincelles entre la médaille et la plaque par-dessus la feuille de mica. Si la lumière électrique était la cause des images, la route suivie par ces étincelles devrait être visible; or elle ne l'est pas; mais ce qui l'est, c'est seulement la place de la plaque où les étincelles ont éclaté, et où par conséquent s'est opérée la neu-

tralisation de la tension électrique. Or le mica est un des corps qui isolent le plus. En supposant donc qu'on fût autorisé à attribuer la production des images de Moser à un faible développement d'électricité entre la plaque et l'objet, nous n'aurions plus lieu d'être étonnés de ne pas voir se former une image de Moser à travers une feuille de mica : autrement ce serait vouloir qu'il se produisît une image quand il y aurait une couche d'air entre la plaque et l'objet, l'air ayant autant que le mica la propriété d'isoler. Mais c'est précisément en vertu de cette propriété du mica que les figures électriques se forment promptement sur du métal à travers le mica ; car ce n'est qu'ainsi qu'il est possible de porter à un haut degré la tension électrique. C'est donc à la tension électrique, à cet état qui est propre à l'électricité, qu'on doit attribuer la production des figures dites électriques, et non à la lumière électrique, non plus qu'à la chaleur qui vient à se développer d'une manière quelconque ; et si l'on avance que la lumière invisible est la cause à laquelle sont dues les figures électriques, on reconnaît par là même que cette lumière invisible elle-même est de l'électricité.

Les figures de Moser et les figures électriques se comportent exactement de la même manière à l'égard des vapeurs et de la lumière. Elles ont exactement les mêmes propriétés en ce qui concerne le nivellement (effet qui est aussi un excellent réactif pour les figures électriques produites sur des plaques d'argent iodées). Nous devons en conclure que les modifications produites par les deux forces en question, la lumière invisible et l'électricité, doivent être absolument les mêmes, puisque, soumises l'une et l'autre à l'action d'une troisième, ces deux forces subissent à leur tour les mêmes modifications.

Les images de Moser ne peuvent pas se former à une grande distance. Il en résulte que la lumière invisible se distingue aussi de la lumière ordinaire en ce qu'elle ne peut pas être transmise à une distance quelconque, sans quoi il faudrait attribuer à

l'air un pouvoir d'absorption démesurément fort, relativement à la lumière invisible. Mais on retrouve sous ce rapport une nouvelle ressemblance entre l'électricité et la lumière invisible, car le cercle dans lequel s'exerce l'activité de l'électricité est aussi très-restreint.

Les images de Moser et les figures électriques ne noircissent ni l'iode, ni le nitrate d'argent, ni le chlorure d'argent. Par conséquent la lumière invisible a aussi d'autres propriétés que la lumière ordinaire, mais ces propriétés sont les mêmes que celles de l'électricité.

Enfin la lumière invisible n'est, selon le professeur Moser, renfermée dans aucune de nos sources de lumière, mais elle se trouve dans chaque corps. Il n'y a pas non plus d'électricité dans le rayon solaire ; tout au plus pourrait-il s'en développer à l'endroit où ce rayon tombe sur un corps ; mais tout corps mis en communication avec un autre présente un développement d'électricité.

Ainsi nous pouvons tirer de ce qui précède les conséquences suivantes : 1° l'électricité et non pas la lumière (ordinaire ou invisible, quelque intense qu'elle soit) est la cause des figures électriques ; 2° l'électricité et la lumière invisible produisent exactement les mêmes modifications dans les corps ; 3° l'électricité et la lumière invisible se distinguent également de la lumière ordinaire par le peu d'étendue de leur cercle d'activité, et par la manière dont elles se comportent à l'égard des substances ; 4° la lumière invisible ne manifeste pas sa présence là où il y a de la lumière, soit que cette lumière vienne du soleil, soit qu'elle vienne des étoiles, etc., mais on la retrouve dans tous les corps ; par conséquent elle constitue une propriété commune à tous les corps, analogue à la propriété de développer de l'électricité.

Ces circonstances réunies m'engagent à regarder l'analogie que présentent l'électricité et la lumière invisible, comme assez grande pour qu'on puisse les considérer comme identiques, et

c'est en partant de ce point de vue que je vais essayer d'expliquer les phénomènes.

Quand deux corps, qui diffèrent entre eux d'une manière quelconque, viennent à être mis en contact, il se développe un courant électrique. On pourrait peut-être bien admettre ce principe, malgré sa grande généralité ; non-seulement nous savons qu'il se développe un courant électrique par l'effet du contact de deux métaux, ainsi que le démontre l'expérience fondamentale de Volta, mais on a étendu à beaucoup d'autres substances cette propriété qui dans l'origine ne semblait appartenir qu'aux métaux. Quoiqu'on ne puisse pas, pour la plupart des corps, démontrer directement la présence de l'électricité qui s'y développe, nous n'avons pas le droit de nier cette présence, puisque les moyens nous manquent pour mesurer un très-faible développement électrique. Une bouteille de Leyde fortement chargée ne donne plus de commotion quand on prend pour conducteur un long fil humide. Cependant nous savons qu'il y avait une accumulation d'électricité à grande tension ; mais comment, quand nous n'aurions pas eu les moyens nécessaires pour reconnaître la tension de la bouteille, aurions-nous eu le droit d'y nier l'existence de l'électricité? Dans ce cas, c'est le ralentissement du courant qui nous empêche de reconnaître la tension. Or si, de plus, il se trouve qu'en général la tension ne soit pas très-développée, et qu'elle soit déjà de nouveau neutralisée avant d'arriver à un certain degré d'intensité, nous ne pourrons avec nos moyens actuels mettre en évidence la présence du courant électrique, quoique ce courant existe réellement. Or trois circonstances se réunissent, dans les images de Moser, pour nous empêcher d'apercevoir la tension électrique qui doit exister entre l'objet et la plaque. Si nous posons une médaille sur une plaque de métal, il peut se faire qu'au moment du contact nous puissions encore démontrer la présence du courant électrique qui se développe. Mais si la plaque est d'une autre substance, que, par exemple, elle

ne soit qu'un conducteur imparfait, l'électricité développée sera faible; en second lieu, la tension ne peut pas acquérir d'intensité, parce qu'elle est neutralisée continuellement; en troisième lieu, cette neutralisation se fait très-lentement selon la nature matérielle de l'objet. Voilà quelles seraient à peu près les causes qui peuvent nous empêcher de reconnaître la présence d'un courant électrique pendant la formation des images. Ce phénomène électrique est-il lui même la cause de cette formation? c'est là une nouvelle question; et un grand nombre de circonstances semblent se réunir pour nous faire croire qu'il en est ainsi. Nous allons les énumérer :

1° Nous savons qu'on obtient des images au moyen de l'électricité;

2° Ces images ont beaucoup de propriétés communes avec les images de Moser;

3° Les images de Moser sont dues à un phénomène dans lequel on peut croire qu'il y a de l'électricité en jeu, tandis que la lumière invisible est une *qualité occulte*, et que la chaleur tout au moins peut être regardée comme la cause des images, ainsi que Moser l'a déjà démontré;

4° Si l'on dispose les expériences de manière à rendre impossible le développement d'un courant électrique, il ne se forme pas non plus de figures. Si par exemple on interpose une substance isolante entre l'objet et la plaque, il ne se forme pas de figure; il en est de même si l'on superpose les uns sur les autres des corps aussi homogènes que possible, et ayant la même température. On voit donc bien que la formation des images présente une liaison avec l'électricité, mais non avec la lumière invisible, en supposant que cette lumière possède les propriétés principales de la lumière ordinaire.

A cette occasion je vais rapporter une expérience qui a besoin d'être répétée encore, mais qui ne me paraît pas être sans importance dans la solution de cette question. On a posé une pièce d'argent sur une plaque de laiton, avec laquelle on l'a

fait communiquer au moyen d'une bande de cuivre placée tou autour à l'extérieur. On a posé une pièce semblable sur une plaque de même métal, le tout placé entre deux plaques de verre. Les pièces de monnaie et les plaques étaient restées longtemps dans le même espace, et avaient été gardées pendant trois jours au même endroit. Au bout de ce temps, la première pièce de monnaie a donné une image de Moser excellente, la seconde une très-mauvaise; avec la première la neutralisation du courant électrique se faisait par la bande de cuivre, tandis que avec la seconde la neutralisation des tensions opposées avait lieu par les pièces de monnaie mêmes, et par conséquent devait empêcher la formation des images.

Une des principales objections qu'on peut faire contre cette manière d'expliquer le phénomène de la production des images, c'est qu'il a lieu même quand l'objet est à une très-petite distance de la plaque. Cependant on peut y répondre de plusieurs manières. Volta pensait déjà qu'il peut se développer une tension électrique entre deux plaques très-rapprochées. Cette tension sera naturellement beaucoup plus faible que celle à laquelle le contact donne lieu, et cela en vertu de la loi de diminution des forces; mais que l'on compare seulement ces images produites à quelque distance, avec celles qui sont dues à un contact immédiat, les mêmes différences qu'elles présentent entre elles se retrouveront probablement dans les tensions correspondantes. De plus, pouvons-nous dire réellement que le contact de deux plaques d'une pile galvanique soit assez parfait pour qu'il n'existe pas entre elles la plus mince couche d'air? Certes non; il ne s'agit donc ici que d'une différence quantitative et non qualitative, et si l'on reconnaît que l'électricité puisse se développer, comme on dit, par l'effet du contact, on doit aussi accorder que ce développement est possible à une faible distance.

On objecte en deuxième lieu, que l'électricité galvanique ne donne pas naissance à une formation d'images. J'ai dit, dans

mon précédent Mémoire, que je n'ai pu parvenir à obtenir des résultats bien certains à cet égard, ni au moyen d'un calorimoteur, ni au moyen d'une pile voltaïque. Cependant je l'attribue à ce que les expériences n'ont pas été bien faites, et maintenant je m'occupe à en faire de nouvelles, propres à atteindre le but que je poursuis.

On pourrait encore tirer une troisième objection de la conclusion que le professeur Moser a mise en avant contre la production des images à l'aide de la chaleur, et qui paraît pouvoir aussi s'appliquer ici. Il dit que la chaleur se répandrait promptement dans les conducteurs, et qu'il serait par conséquent impossible d'obtenir des images bien nettes. A l'aide de l'électricité, la transmission se fait avec une rapidité infiniment plus grande ; toutefois ce n'est pas à elle, mais à la tension qui se développe en des points tout à fait déterminés, qu'il faut attribuer la production des images.

Quant à l'influence de la chaleur sur la production des images, voici ce qui en est. Si par un procédé quelconque on augmente la différence électrique qui existe entre la plaque et l'objet, on favorise nécessairement ainsi le phénomène électrique. Il est donc possible que, dans l'opinion qui a été avancée, la chaleur accélère la formation des images en développant une tension thermo-électrique. J'ai été très-surpris que Mr. Knorr, tout en attribuant à la chaleur la production des images, s'attende que ce phénomène jette du jour sur l'électricité thermique. On peut supposer aussi le cas inverse, où la chaleur opposerait quelque obstacle à la production du phénomène, quand, par exemple, par l'échauffement de l'objet celui-ci serait rapproché de la plaque dans la série des tensions.

Telle est à peu près la manière dont je me représente la formation des images. Si elle n'est pas exacte, du moins a-t-elle plus de vraisemblance que l'hypothèse de la lumière invisible, de la chaleur, etc. Il serait d'ailleurs trop prématuré, de hasarder des explications, maintenant que les faits sont encore tou-

nouveaux et deviennent chaque jour plus nombreux; mais la circonstance même que l'on tente des expériences sous des points de vue différents, aura pour résultat d'accroître assez nos connaissances sur cette matière, pour faire renoncer bientôt à des idées fausses.

La découverte du professeur Moser ne me paraît donc pas présenter une généralisation de celle de Daguerre, mais plutôt elle me paraît ouvrir un champ tout nouveau à l'observation, en fournissant des données sur les relations les plus délicates des corps entre eux, en ce qui concerne leur état électrique.

Dans les autres hypothèses, c'est à la chaleur ou à une couche de substance organique, qu'on attribue la formation des images de Moser sur les plaques. Mr. Hunt et Mr. Knorr sont les représentants de la première; MM. Fizeau, Daguerre, Masson et Morren, soutiennent la seconde.

Le professeur Moser dit, dans son premier Mémoire, qu'il avait eu d'abord l'idée que les images étaient dues à des différences de température. En effet il avait obtenu en peu de temps des images en chauffant tantôt la plaque, tantôt l'objet. Mais il ne tarda pas à renoncer à cette explication, parce qu'il reconnut que des corps de même température déposent l'un sur l'autre leur image respective. On aurait dû croire qu'il ne s'agirait que de constater ou de nier l'exactitude de ces expériences, et de nier ou d'admettre que la chaleur est l'agent auquel est due la formation des images. Mais immédiatement après paraissent deux Mémoires, l'un de Hunt, l'autre de Knorr, dans lesquels ces savants considèrent la chaleur comme la cause de la formation des images, sans faire mention des expériences de Moser. Mr. Hunt ne dit pas précisément, il est vrai, à quelle manifestation de la chaleur il faut attribuer ce phénomène, si c'est à une différence de température ou à la chaleur spécifique, etc.; mais ces expériences ne peuvent guère être bien comprises, qu'autant que l'on suppose qu'il voit la cause de la formation des images dans une différence de température. Selon

Mr. Knorr, il doit se faire dans un certain espace de temps une transmission réciproque de chaleur entre la plaque et l'objet, pour qu'il se forme une image.

Il est absolument impossible de tirer des expériences de Mr. Hunt[1] des conséquences précises. Dans l'expérience n° 9, il a posé sur une plaque de cuivre, des verres bleus, rouges, orangés, du crown-glas et du flint-glas, du mica et du papier à dessiner, et il a laissé pendant une demi-heure ces objets ainsi superposés. Au bout de ce temps, le verre rouge, le crown-glas et le flint-glass ont donné de bonnes images, le verre orangé en a donné une faible, le mica et le verre bleu n'en ont point donné, et le papier à dessiner a donné la meilleure. Maintenant que conclure de là? Ce ne sont pas les mauvais conducteurs qui donnent les meilleures images, sans quoi le verre bleu et orangé, le mica et le papier à dessiner auraient dû donner de mauvaises images. Dans l'expérience n° 16, le physicien anglais a posé sur la plaque de métal, outre les corps ci-dessus, du verre noirci à la fumée, un morceau de charbon, un morceau de cuivre, et il a exposé le tout au soleil. Au bout de quelque temps, et sous l'action des vapeurs de mercure, les images se formèrent dans l'ordre suivant: verre noirci à la fumée, crown-glas et flint-glas, verre rouge, mica, verre orangé, papier, charbon, cuivre, verre bleu. Voici la conclusion que Mr. Hunt tire de ces expériences: « J'ai toujours trouvé que les substances qui absorbent ou laissent passer le mieux la chaleur, donnent les meilleures images. » Sous cette forme la conclusion de Hunt est certainement fausse, car le cuivre et le charbon ont sans doute absorbé plus de chaleur que les verres, et cependant ils ont donné de mauvaises images. Voici comme il faut entendre cette phrase: les substances absorbantes donnent de bonnes images, quand elles sont de bons con-

[1] *Phil. Magaz.*, décembre 1842, p. 467, et *Bibl. Univ.*, juillet 1843 (t. XLVI), p. 155.

ducteurs, et que par conséquent il s'établit une différence de température entre elles et la plaque; les substances qui laissent passer le plus de chaleur, donnent de bonnes images, quand on les laisse froides tout en chauffant la plaque. Je ne conçois pas qu'on puisse tirer d'autre conséquence de l'expérience en question.

Mr. Hunt a basé sur les observations qu'il a faites un procédé pour obtenir de bonnes images; je ne l'exposerai pas ici en détail, puisqu'il se trouve déjà décrit dans les *Annales*. Je me contenterai d'ajouter que Mr. H. a introduit évidemment ici quelque chose de tout à fait étranger à la question. Les images dont il parle ne sont ni des images de Moser ni des images produites par la chaleur, mais une espèce de lithographie de noir d'imprimerie sur du mercure. En effet, d'abord, les images ainsi produites sont visibles sans emploi d'aucune vapeur; en second lieu, on peut aisément les faire disparaître par le frottement, ce qui les distingue par conséquent déjà des images produites par la chaleur, lesquelles pénètrent à une grande profondeur dans la plaque.

On sait, en outre, combien une surface de mercure bien pure est sensible à l'action d'une substance grasse, d'où il résulte que de l'écriture imprimée ou des impressions de gravure sur bois laisseront toujours des traces sur le mercure. Aussi n'ai-je jamais obtenu des images de ce genre avec des couleurs à l'eau, tandis que j'ai obtenu des images de Moser et des figures électriques. Si donc Mr. H. prétend que la chaleur est la cause des images de Moser, il faut qu'il commence par indiquer exactement sur quoi il fonde cette assertion, car ses expériences ne démontrent rien à cet égard. Il faut ensuite qu'il démontre que d'autres forces ne peuvent pas produire ces images; il faut qu'il explique pourquoi, sous l'influence de l'électricité, il peut se former des images là où il ne peut être question d'une action de la chaleur.

Mr. Knorr prétend qu'il faudrait distinguer certaines phases

dans les images dues à la chaleur. En effet, si l'échange d'une certaine quantité de chaleur entre la plaque et l'objet dans le temps t produisait une image de Moser, il y aurait encore une autre phase, celle où le temps t aurait une valeur moindre, auquel cas l'image apparaîtrait sans l'aide des vapeurs. C'est cette seconde phase qui constitue la nouvelle découverte de Mr. Knorr, car il ne peut prétendre avoir le premier fait usage de la chaleur pour la production des images, puisque ce mérite appartient à Mr. Moser lui-même, dont il semble ignorer entièrement les expériences. La découverte de la seconde phase appartient donc à Mr. Knorr; seulement il est dommage que les images qu'on obtient pendant la durée de cette phase, n'aient aucun rapport avec celles de Moser, mais en diffèrent totalement. J'ai déjà dit, dans le n° 5 de mon précédent Mémoire, que souvent des images produites par l'action de la chaleur se montrent sans l'emploi des vapeurs; je ne savais rien alors des expériences de Mr. Knorr. Quand j'en ai eu connaissance, je les ai répétées, et j'ai trouvé que les images que j'obtenais étaient précisément celles que j'avais déjà observées. Dès lors j'ai acquis la conviction qu'elles sont dues à une oxidation de la plaque.

Une chose singulière, c'est que Mr. Knorr n'a pas fait usage de plaques de métal noble, tandis que la pensée d'une oxidation sous l'action d'une si grande chaleur devait se présenter très-vite. Je n'ai jamais pu obtenir des thermographies de Knorr sur des plaques de platine et d'or; mais j'ai trouvé des images de Moser après avoir soumis la plaque à l'action de la chaleur. Mr. K. s'est bien servi de plaques de daguerréotype, mais elles ne peuvent fournir un résultat décisif, puisqu'elles paraissent posséder des propriétés particulières dont on ne peut encore rendre compte. Daguerre lui-même a eu cette idée, quand il a dit que des plaques d'argent ne sont pas d'un aussi bon emploi pour les daguerréotypes. J'ai fait la même expérience avec les plaques de Daguerre. J'ai dit ailleurs qu'on voit apparaître, sur des plaques de daguerréotype, des figures élec-

triques d'une pièce de monnaie déjà sous l'action des vapeurs, quand on fait usage d'une grande quantité d'électricité. Tous les alliages présentent le même phénomène; j'ai obtenu sur différentes plaques de laiton des images tout à fait semblables, mais seulement d'une autre nuance. Dans une notice publiée par les *Comptes Rendus*, Matteucci parle de taches noires qui se forment sur les plaques de daguerréotype, quand on y fait arriver des étincelles électriques provenant du conducteur d'une machine. Ces taches ont la même origine que les figures dont j'ai parlé, et qui par conséquent sont dues à de petites étincelles qui éclatent entre la plaque et la feuille de mica. Sur l'argent pur il se forme aussi de ces images, mais elles sont plus faibles. En outre, quand on expose à une forte chaleur des plaques de daguerréotype ou des plaques d'argent propres, elles se recouvrent d'une pellicule blanchâtre, ce qui prouve que la chaleur y produit réellement des modifications, qui peuvent donner lieu aux images de Knorr. Ainsi l'emploi de plaques de daguerréotype n'a pas suffi pour démontrer que les thermographies ne sont pas dues à une oxidation des surfaces. Or comme il ne se forme point d'images de la seconde phase sur les métaux nobles, et que par conséquent cette classe d'images ne présente pas de rapport avec les images de Moser, l'hypothèse de Mr. Knorr tombe d'elle-même.

Quant à l'hypothèse de Mr. Fizeau, ce physicien prétend que les images de Moser sont dues à la présence d'une couche de substance organique volatile qui existe à la surface de tous les corps. A l'appui de cette assertion il rapporte une expérience dans laquelle il ne s'est point formé d'image de Moser sur une plaque à laquelle on avait donné un poli parfait au moyen du dernier procédé indiqué par Daguerre. Mais cette expérience, qu'il faudrait d'ailleurs répéter, ce semble, laisse encore intacte la question de l'existence d'une substance organique à la surface. Quand on fait déposer de la vapeur d'iode sur une plaque d'argent, on n'obtient pas immédiatement cette couche

organique, cependant on obtient une bonne image avec des objets soigneusement polis. Une plaque de platine, qui avait servi de pôle positif dans une pile, a pris une très-bonne figure électrique; or dans ce cas la surface d'une plaque est d'une propreté parfaite, et ce n'est qu'en séchant qu'elle pourrait se couvrir de nouveau de quelque impureté organique. Sur du verre, corps si facile à nettoyer, on obtient des images d'autant plus belles que la surface est polie avec plus de soin. On a chauffé une plaque de verre dans de l'eau distillée, puis, après l'en avoir retirée, on a fait évaporer l'eau qui est restée adhérente à la surface; on a traité de même l'objet dont on voulait obtenir une copie. De cette manière on était sûr que ni l'un ni l'autre n'avaient à la surface quelque impureté organique; et malgré cela on a obtenu une excellente figure électrique.

L'explication donnée par Mr. Fizeau nous fait voir toutefois qu'il faut donner plus d'attention qu'on ne l'a fait jusqu'ici aux phénomènes d'adhésion qui se passent à la surface des plaques. Deux plaques de laiton, dont l'une vient d'être polie, et dont l'autre l'est depuis une heure, présentent déjà une grande différence de couleur; la première est peut-être plus claire. Cependant si la formation des images avait pour cause une impureté organique, on devrait voir s'en former une sur la seconde plaque beaucoup plus vite que sur la première, tandis que c'est le contraire qui a lieu. Mais les vapeurs font ressortir d'une manière moins nette une image sur une plaque fraîchement polie, parce qu'elles sont déjà condensées par tous les points de la plaque à l'état de très-grande division; cependant l'image a des limites beaucoup plus tranchées. Je m'accorde en ceci avec Mr. Fizeau que j'affirme que le phénomène (électrique) de la production des images a pour effet, quel qu'en soit le mode, de nettoyer, polir, etc., la plaque ou, en un mot, de lui communiquer un état dans lequel elle montre une plus grande adhésion pour les vapeurs, et en général une plus grande netteté dans tous les effets.

On pourrait en dire autant des expériences suivantes de MM. Masson et Morren, qui sont partis à peu près de la même idée que Mr. Fizeau. Mr. Masson pose une pièce de monnaie sur un gâteau de résine, il l'électrise, l'enlève, et saupoudre la place qu'elle occupait avec du minium et du soufre, ce qui fait ressortir l'image de la pièce. M. Morren recouvre une pièce de monnaie avec du tripoli, qu'il enlève ensuite en frottant, en sorte qu'il n'en reste que dans les parties creuses de la pièce. Il pose celle-ci sur une substance isolante, il l'électrise, et aussitôt l'image de la pièce se montre sur le corps isolant, quand on en secoue la poussière. On obtient le même résultat si, au lieu de poudre, c'est de la vapeur d'eau fine qui est déposée dans les parties creuses de la pièce de monnaie. Ces expériences sont assez suffisamment connues; j'ai vu souvent de ces images quand j'ai produit des figures de Lichtemberg sur le gâteau de résine. Mais elles ne pourraient servir à expliquer la production des images de Moser que si l'on admettait que l'électricité joue un rôle dans l'apparition de ces dernières. Ensuite on peut faire relativement à ces expériences les mêmes objections que celles auxquelles a donné lieu l'opinion de Mr. Fizeau, savoir, que d'abord l'existence de cette substance libre sur les plaques et les objets n'est point démontrée, et en second lieu qu'elle est tout à fait inutile pour la production des images.

DE L'ÉLECTRICITÉ DES VAPEURS PROVENANT DES BOUILLEURS A HAUTE PRESSION, par Mr. PELTIER (*Séance de la Soc. Phil.* du 3 août 1844, et *Institut* du 7 août 1844.)

Depuis la découverte du mécanicien W. Patterson, en septembre 1840, de l'électricité que possèdent les vapeurs des bouilleurs à haute pression, on a fait de nombreuses expériences pour en connaître la cause et pour apprécier quelles étaient les dispositions et les circonstances les plus favorables à la reproduction de ce phénomène. On s'est demandé également si cette puissance ne concourait pas à l'explosion des chaudières.

Parmi les physiciens qui se sont le plus occupés de ces questions, MM. Faraday et Armstrong doivent être placés au premier rang. Ils ont déduit de leurs nombreuses expériences une théorie qui n'a pu, jusqu'alors, obtenir l'assentiment que d'un petit nombre de physiciens et qu'il est impossible d'admettre.

Des recherches antérieures sur la cause de l'électricité des vapeurs atmosphériques m'avaient facilité l'intelligence de ces nouveaux phénomènes; j'indiquai, à l'époque même de leur découverte, la cause de l'électricité des vapeurs produites à l'air libre et sans autre pression que celle de l'atmosphère. Dans une lettre subséquente à Mr. Quetelet, communiquée à l'Académie des sciences de Bruxelles, mon explication s'étendit aux diverses productions électriques, soit à celles qui ont lieu sous la simple pression atmosphérique, soit à celles qui proviennent d'une pression de plusieurs atmosphères. Cette explication ne paraît pas avoir été adoptée par MM. Faraday et Armstrong, car, dans un Mémoire postérieur, ils ont persisté dans l'idée déjà émise, que la friction de l'eau contre les parois de l'éjaculateur était la cause unique de ce phénomène. Désireux de

reprendre cette question, j'ai profité du voyage en Belgique que je viens de faire, pour revoir et répéter sous de nouvelles formes ces mêmes expériences, en interrogeant les vapeurs des locomotives, celles des bateaux, et enfin les vapeurs sèches ou fumées qui sortent des cheminées. Ce sont les résultats de ces expériences que je vais communiquer à la Société.

Je rappellerai d'abord quelques-unes des circonstances nécessaires à la production du phénomène, et sans lesquelles il n'aurait pas lieu.

Il y a deux moyens de produire des vapeurs électriques par une température élevée, qu'il ne faut pas confondre. Le premier est celui de la caléfaction à l'air libre, sans autre pression que celle de l'atmosphère. Dans ce cas on n'obtient de manifestation électrique qu'avec des dissolutions salines qu'on projette dans une capsule, portée préalablement à une haute température. Le liquide projeté se *caléfie*, il s'isole du vase, sa température ne dépasse pas 90° à 92°, tandis que celle du vase peut atteindre le rouge blanc. L'eau se vaporise peu à peu sans donner aucun signe électrique ; mais lorsque, par suite de l'évaporation, la dissolution devient sursaturée et que des cristaux de sels se déposent sur les parois de la capsule, il s'établit, par leur intermédiaire, des contacts partiels entre le liquide et le vase ; ces parcelles du liquide, parvenues au contact, sont transformées subitement en vapeur élastique dont la tension est proportionnée à la température à laquelle elle a été formée. C'est cette vapeur seule, celle qui doit sa naissance au contact d'un vase chauffé à plus de 112 degrés, celle qui possède une tension de plus d'une atmosphère, c'est cette seule vapeur qui conserve l'électricité qu'elle doit à sa transformation, à son passage de l'état liquide à l'état gazeux. Plus la température de la capsule est élevée au moment du contact, plus la quantité d'électricité conservée est considérable ; au-dessous de 110 degrés on n'obtient plus de signe électrique. On favorise beau-

coup ce contact anticipé du vase en noircissant le liquide avec un peu d'encre.

La vapeur produite à une température qui peut s'élever au delà de 200 degrés, possède une force élastique considérable, elle se sépare brusquement du reste du liquide, et met instantanément entre eux un grand espace isolant, qui lui permet de garder l'électricité qu'elle doit à sa formation.

Au lieu de dissolutions salines, si l'on projette de l'eau distillée dans le creuset chauffé à quelques centaines de degrés, l'eau se caléfie, comme les dissolutions, mais elle conserve sa caléfaction jusqu'à ce que la température du vase soit descendue au-dessous de 110 degrés, aucune cause n'ayant provoqué de contact anticipé. La température s'étant ainsi abaissée, et la caléfaction ayant cessé d'isoler le liquide, l'eau est transformée en une vapeur qui n'a de force élastique que celle d'une atmosphère; elle s'élève alors trop lentement pour mettre un espace isolant entre elle et le reste du liquide, et le phénomène électrique se complète par une neutralisation en arrière au moyen de la conductibilité de la colonne de vapeur.

Le second moyen de produire des manifestations électriques dans les vapeurs est celui des bouilleurs à haute pression. Avec ces appareils on donne au liquide une température aussi élevée qu'on le désire, et la vapeur qui en sort possède une force élastique proportionnée. Ce moyen remplace avantageusement la présence des sels, parce qu'il permet d'opérer avec toute espèce de liquide, même avec de l'eau distillée, et d'obtenir ainsi des manifestations électriques à une tension voulue. Avec cet appareil, l'expérience démontre qu'il faut : 1° que la vapeur soit projetée par une pression intérieure de plusieurs atmosphères; 2° qu'elle soit accompagnée de projection d'eau; si elle sort *sèche*, sans être accompagnée de gouttelettes d'eau, elle ne donne aucun signe électrique. Conséquemment, ce n'est pas la vapeur issue du bouilleur qui apporte l'électricité au dehors, mais celle qui provient des gouttes d'eau projetées pos-

sédant une haute température, et dont une partie se vaporise sur-le-champ. Cette absence de toute électricité dans la vapeur intérieure des bouilleurs détruit l'idée qu'on avait avancée sur le rôle de cette puissance dans les explosions des chaudières.

Les faits précédents m'ayant convaincu que la conservation du phénomène électrique dépendait de la prompte séparation du liquide et de la vapeur au moment de la formation de celle-ci, j'ai pensé que la seule progression du corps producteur, lorsqu'elle est rapide, pourrait suffire, dans certaines limites, à la séparation des deux états électriques, et que la vélocité des locomotives pourrait la démontrer.

Les 8, 9, 11 et 13 juillet dernier, je suis monté sur un wagon découvert placé à quelque distance de la locomotive d'un convoi; me tenant debout et élevant un électromètre terminé par une boule de cuivre polie, j'ai pu constater le fait tel que je l'avais prévu, et j'ai pu dans une excursion à Gand en rendre témoin Mr. Quetelet. Par suite de la progression du convoi, nous passions sous la colonne de vapeur que la locomotive abandonnait rapidement; placés ainsi sous son influence, nous pûmes constater que les signes électriques étaient d'autant plus considérables que le convoi marchait plus vite, et que la colonne de vapeur se fractionnait plus rapidement en mamelons. Lorsque le convoi diminuait de vitesse près des stations, la colonne de vapeur devenait plus unie, moins mamelonnée, les signes électriques diminuaient alors dans la même proportion, et tout signe cessait même de paraître lorsque le convoi était près de s'arrêter.

Il me fut également facile de constater que lorsque l'atmosphère favorisait une plus grande évaporation, lorsque la vapeur globulaire qui nous dominait était plus rare, et conséquemment lorsque la nouvelle vapeur élastique était plus considérable, les signes d'électricité positive croissaient; lors, au contraire, que le gros de la colonne de vapeur nous atteignait, et que les mamelons à demi transparents se formaient derrière

nous, les signes de cette colonne opaque étaient négatifs. Souvent aussi, lorsque la bruine qui tombait sous cette colonne de vapeur mouillait la boule de l'électromètre, le signe *positif* disparaissait tout à coup et était remplacé par un signe *négatif*. Ainsi la vapeur élastique formée à l'air libre était *positive* et témoignait au loin son état électrique par son influence sur l'instrument, tandis que les gouttes d'eau non vaporisées, résidu de celles qui avaient fourni la vapeur, étaient négatives et venaient parfois changer les signes en se déchargeant sur la boule. En tête de la colonne on n'obtenait que des signes d'influence positive; en queue, sous la colonne compacte, on n'obtenait que des signes négatifs, et intermédiairement les deux signes alternaient suivant la marche du convoi, la quantité des vapeurs dominantes, la rapidité de l'évaporation et l'état du ciel.

Entre Liége et Namur, je répétai ces expériences avec le même succès sur le bateau à vapeur *John Cockerill*, en remontant la Meuse, au moment qu'on lâchait la vapeur; de plus, pendant tout le trajet, j'ai pu répéter les mêmes expériences sous l'influence de la vapeur sèche, c'est-à-dire de la fumée de la cheminée. Lorsque je me plaçais sur l'avant, loin de l'influence de la colonne de fumée, je trouvais, en élevant l'électromètre de deux mètres, une divergence positive de 10 degrés. En me plaçant à l'arrière, sous l'influence de la colonne de fumée, je ne pus obtenir aucun signe électrique. Cette colonne de fumée possédait alors une tension négative suffisante pour neutraliser de haut en bas celle du globe qui agissait de bas en haut; elle emportait seulement ce qu'elle empruntait au globe, elle était aussi négative que lui, et aucune autre électricité n'était formée dans son épaisseur, puisqu'il n'y avait pas de changement d'état. Si le vent ou la marche contournante du bateau me débarrassait de la colonne de fumée, je retrouvais à l'arrière comme à l'avant les 10 degrés positifs pour une même observation.

J'ai pensé que ces expériences avaient assez d'intérêt pour

être communiquées à la Société, et qu'elles contribueraient à faire mieux comprendre la véritable cause des manifestations électriques des vapeurs provenant des bouilleurs et de toutes les températures élevées, et qu'elles s'opposeraient à l'admission de l'hypothèse, impossible suivant moi, qui attribue l'électricité produite à la friction d'un liquide contre des parois solides.

ÉTUDES DE PHOTOMÉTRIE ÉLECTRIQUE, par Mr. A. MASSON.

(*Comptes rendus de l'Académie*, du 5 août 1844.)

Dans ce travail, je me suis proposé de déterminer une des constantes de la formule par laquelle j'ai représenté la loi du développement de la lumière électrique; j'ai essayé d'établir le rapport existant entre les quantités de lumière et de chaleur développées par un même courant électrique.

Mesurant enfin, par une nouvelle méthode, la sensibilité de l'œil, je crois être parvenu à établir quelques principes nécessaires dans les recherches photométriques.

Dans mon premier Mémoire [1], j'ai donné, pour l'expression mathématique du développement de la lumière par les décharges électriques, la formule

$$I = k\,[1 + m\,(x - 1)]^2\,\frac{s}{y^2 E}.$$

I intensité de la lumière;

k constante dépendant de la nature du circuit et de la substance du condensateur;

s surface du condensateur;

E son épaisseur;

m une constante;

y distance de l'étincelle au photomètre;

x distance d'explosion.

[1] Voyez page 152 de ce volume (*Archives* n° 13).

De nouvelles expériences, entièrement d'accord avec les premières, ont établi que m étant égale à l'unité, l'intensité des lumières instantanées, comme celle des autres lumières, variait en raison inverse du carré de leur distance au point éclairé, et qu'on devait prendre, pour représenter la loi du développement de la lumière électrique, la formule

$$l = \frac{k\, x^2\, s}{y^2\, E}.$$

Suivant MM. Riess et Harris, x est proportionnel à $\frac{q}{s}$, q représentant la quantité d'électricité accumulée sur un condensateur dont la surface est s; et comme il résulte de mes expériences que x est aussi proportionnelle à E, on aura donc

$$x = \frac{b\, q\, E}{s},$$

et par suite

$$l = \frac{k'\, q^2\, E^2}{s^2} \cdot \frac{s}{E}.$$

Cette dernière formule, en faisant E constant, représente la loi, découverte par Mr. Riess, du développement de la chaleur dans un fil traversé par le courant d'une batterie.

La tension électrique en chaque point d'un condensateur étant, d'après le savant physicien allemand, proportionnelle à x^2, je crois pouvoir conclure de ses intéressants travaux et des miens, les conséquences suivantes :

1° Les quantités de lumière produites par des décharges électriques sont entre elles dans le même rapport que les quantités de chaleur développées dans un fil par le courant dû à la décharge; l'un des effets de l'électricité pouvant alors servir de mesure à l'autre, on conçoit la possibilité de ramener les mesures photométriques et électriques à de simples évaluations thermométriques.

2° Les quantités de lumière et de chaleur développées par des décharges électriques sont proportionnelles à la tension du fluide sur le condensateur, en raison directe de la surface de ce même condensateur, et inversement proportionnelles à son épaisseur.

De la mesure de la sensibilité de l'œil.

Bouguer a publié, dans son *Traité d'optique*, le résultat de ses expériences sur la sensibilité de son œil.

Sur un papier éclairé par une bougie, il projetait une ombre légère produite par une seconde lumière de même intensité que la première, mais placée, relativement à la surface éclairée, à une distance beaucoup plus grande que celle-ci. L'éclairement était uniforme pour lui, et par conséquent l'ombre cessait d'être vue sur le fond, quand la bougie qui produisait cette ombre était environ huit fois plus éloignée du papier que l'autre; d'où il a conclu qu'entre deux surfaces inégalement éclairées, il ne pouvait pas apprécier une différence d'éclairement plus petite que $^1/_{64}$.

Le procédé que j'ai employé pour mesurer la sensibilité de l'œil est entièrement différent de celui de Bouguer.

Je prends un disque circulaire de papier blanc de 6 centimètres de diamètre; après avoir tracé un secteur dont la surface est à celle du cercle dans un certain rapport que j'ai fait varier depuis $^1/_{60}$ jusqu'à $^1/_{120}$, je noircis une partie de ce secteur comprise entre deux cercles concentriques, tellement décrits que la surface de la partie noire est quelquefois égale, d'autres fois plus petite ou plus grande que les parties blanches entre lesquelles elle est comprise. Je place le cercle ainsi préparé sur un appareil convenable, et je le fais tourner avec une vitesse de 200 tours environ par seconde. Dans ce mouvement, la partie noire du secteur décrit une couronne noire qui, superposée aux cercles blancs produits par les autres parties,

donne sur le fond l'apparence d'une couronne grise plus ou moins foncée.

En diminuant les dimensions du secteur, on atteint une limite où l'œil n'aperçoit plus sur le disque qu'une teinte uniforme, malgré la présence de la couronne noire décrite par la portion noire du secteur. Cette limite est aussi celle de la sensibilité de l'œil.

Supposons en effet que, pour un individu, le cercle paraisse uniformément éclairé quand la surface du secteur est la soixantième partie de celle du cercle, cet individu regarderait comme identiques deux éclairements qui différeraient cependant de $^1/_{60}$; car la partie noire du secteur enlevant à la couronne sur laquelle elle se meut, la soixantième partie de la lumière qui y arriverait sans elle, l'éclairement de cette couronne et celui du fond diffèrent de $^1/_{60}$.

Par de nombreuses expériences, j'ai constaté que :

1° Pour une même personne la sensibilité de l'œil varie très-peu d'un jour à l'autre ;

2° Pour des individus différents la sensibilité de l'œil peut varier de $^1/_{60}$ à $^1/_{120}$, et même au delà ; je ne l'ai pas trouvée au-dessous de $^1/_{60}$;

3° La sensibilité de l'œil est indépendante de l'intensité de la lumière et de sa couleur, pourvu que l'éclairement soit suffisant pour lire très-distinctement.

Sans pouvoir apprécier exactement la sensibilité de l'œil pour des lumières instantanées, j'ai trouvé, et cela est très-important pour mes recherches sur la lumière électrique, que deux individus, ayant la même sensibilité mesurée par l'instrument décrit plus haut, obtenaient les mêmes valeurs et voyaient par conséquent de la même manière, quand ils opéraient avec le photomètre électrique.

DES EFFETS CALORIFIQUES DES COURANTS MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES, ET DE L'ÉVALUATION MÉCANIQUE DE LA CHALEUR, par J.-P. JOULE. (*Phil. Mag.* et *Electr. Mag.*)

L'auteur de ce Mémoire remarque qu'on n'a jamais étudié la chaleur développée par les courants magnéto-électriques, que dans une partie du circuit et non dans la totalité, ni en particulier dans les fils des bobines qui sont soumises à l'induction. Il se demande si la chaleur, au lieu d'être produite dans ces bobines, n'en est point transportée ailleurs, cas dans lequel la température des bobines elles-mêmes devrait s'abaisser. Cette supposition ne paraît pas très-improbable à Mr. Joule, vu qu'elle serait en accord avec le principe qu'il est parvenu à démontrer, savoir que la chaleur émise par la batterie voltaïque est définie et en rapport avec les changements chimiques qui ont lieu dans l'appareil lui-même, et que c'est aux dépens de la chaleur libre qui aurait été développée dans le circuit, que les gaz dégagés dans la décomposition voltaïque de l'eau absorbent la chaleur latente nécessaire à leur constitution physique. Il admet en conséquence que ce n'est pas une *génération* mais un simple *déplacement* de chaleur, qui a lieu dans l'appareil voltaïque. Il invoque encore en faveur de cette opinion les expériences de Peltier sur le froid que peut produire dans certaines circonstances le courant thermo-électrique, et il semble en trouver une nouvelle confirmation dans les recherches qu'il a faites sur les courants magnéto-électriques.

PREMIÈRE PARTIE. — *Des effets calorifiques des courants magnéto-électriques.*

Les premières expériences furent faites avec un petit électro-

aimant, qu'on plaçait dans un tube rempli d'eau, et qu'on faisait tourner devant les pôles d'un fort aimant. Un thermomètre très-sensible accusait les changements de température de l'eau, et les précautions les plus délicates étaient prises pour évaluer la partie de la variation de température qui était uniquement due au courant électrique circulant dans le fil de l'électro-aimant.

Les expériences furent faites en employant, pour exercer l'induction, soit des aimants d'acier ordinaires, soit des électro-aimants de fer doux entourés de fils traversés par des courants plus ou moins forts. Un galvanomètre, dans quelques-unes des expériences, avait été placé dans le circuit induit, dans d'autres il n'y était pas. Sa présence, en augmentant la résistance du circuit, diminuait l'intensité des effets. En général, il y eut élévation de température dans l'eau où plongeaient les bobines dont les fils étaient parcourus par les courants d'induction, et cette élévation fut d'autant plus considérable que l'induction fut plus forte. *La chaleur développée dans les fils des bobines était proportionnelle* (*cæteris paribus*) *au carré de l'intensité du courant.*

En comparant les effets calorifiques des courants magnéto-électriques avec ceux des courants voltaïques ordinaires, soit dans le circuit induit lui-même, soit en dehors, l'auteur trouva que *la chaleur dégagée par les bobines de la machine magnéto-électrique est soumise aux mêmes lois que la chaleur qui est développée dans l'appareil voltaïque, et qu'elle existe en même proportion lorsque les circonstances sont les mêmes.*

Mr. Joule essaya de combiner, dans la production de la chaleur, l'action des courants voltaïques ordinaires avec celle des courants magnéto-électriques, tantôt en les faisant agir dans le même sens, tantôt en les faisant agir en sens opposés, et il conclut de ses expériences que la chaleur qui est due aux courants électro-chimiques augmente ou diminue proportionnellement à l'intensité des courants magnéto-électriques dont l'action con-

court avec celle des courants voltaïques, ou lui est opposée. La magnéto-électricité devient ainsi un agent capable de détruire ou d'engendrer de la chaleur par un simple procédé mécanique.

Dans toutes les recherches qui précèdent, l'auteur a tenu compte de la chaleur que produisent les courants électriques développés par induction dans les barreaux de fer doux qui servent d'armure aux bobines dont les fils sont parcourus par les courants induits. Il a voulu apprécier cet effet directement, afin de pouvoir y avoir égard avec plus de sécurité, et il a trouvé que *la chaleur dégagée par une barre de fer qui est mise en rotation devant les pôles d'un aimant, est proportionnelle au carré de l'intensité de l'influence magnétique à laquelle cette barre est exposée*. Il estime que des métaux non magnétiques placés dans les mêmes circonstances développeraient également de la chaleur en proportion avec leur pouvoir conducteur; mais il n'a pas fait d'expériences directes sur ce sujet.

SECONDE PARTIE. — *De la valeur mécanique de la chaleur.*

L'auteur réunit sous ce titre quelques recherches qu'il a faites en vue de savoir s'il existe quelque rapport entre la chaleur produite par les courants d'induction et la puissance mécanique dont l'action produit ces courants. Les expériences qu'il a exposées dans la première partie de son Mémoire, peuvent servir à résoudre la question qu'il se pose dans la seconde, pourvu qu'on évalue dans chacune la force employée à faire tourner l'appareil magnéto-électrique.

En faisant toutes les corrections nécessaires, il arrive à trouver que la quantité de chaleur développée par un pouvoir mécanique qui peut soulever un poids de 4 livres et 12 onces à une hauteur perpendiculaire de 517 pieds, peut élever la température d'une livre d'eau de 2°,74 F.

Indépendamment des expériences contenues dans la première

partie, il en fut fait de nouvelles en vue de la question dont il s'agit. Mr. Joule employait, au lieu d'un électro-aimant, un anneau de fer recouvert d'une couche de cuivre déposée par le courant voltaïque, et dans laquelle étaient produits les courants d'induction, et il se servait de forts électro-aimants pour développer l'induction. Deux expériences, dont les résultats furent très-rapprochés, le conduisirent à admettre que *la quantité de chaleur capable d'élever la température d'une livre d'eau de* 1° *F. peut être convertie en une force mécanique capable d'élever* 838 *livres à une hauteur verticale d'un pied, et lui est équivalente.*

Quelques considérations sur la comparaison entre la chaleur produite par la combustion d'une certaine quantité de charbon, et celle que développe l'action électrique provenant de la dissolution d'une livre de zinc dans les piles de Daniell ou dans celles de Grove, amènent l'auteur à reconnaître que tant qu'il ne sera pas possible de convertir plus de la moitié de l'effet calorifique du circuit voltaïque en un pouvoir mécanique profitable, les machines électro-magnétiques mises en œuvre par les batteries voltaïques actuellement employées ne pourront jamais surpasser l'action de la vapeur sous le rapport économique.

Mr. Joule termine son travail par l'exposition de quelques idées hypothétiques auxquelles nous ne saurions nous ranger, sur la cause qui détermine la production de la chaleur dans les actions chimiques. Il croit voir, si nous ne nous trompons, une action mécanique dans le rapprochement forcé des particules qu'opère la combinaison chimique, action qui dégage la chaleur d'une manière analogue à celle dont le frottement et les actions vraiment mécaniques la développent. En un mot il tend à ramener à des actions mécaniques les effets de ce genre, et tout en reconnaissant que ses idées ne sont pas encore bien mûries, cependant il paraît espérer qu'elles seront confirmées plus tard par de nouvelles recherches.

Nous avons cherché, dans cette courte analyse, à donner une

idée du travail qu'a fait Mr. Joule sur un sujet du plus grand intérêt ; nous ne pouvons nous empêcher de remarquer en terminant, que les résultats auxquels il est parvenu ne nous paraissent pas être appuyés sur des expériences assez nombreuses et assez concluantes pour pouvoir être admis sans contestation. Le mode de procéder qu'il a employé ne lui permettait pas d'obtenir des différences de température assez grandes, pour que les erreurs nécessairement inévitables dans ce genre d'expériences n'exerçassent pas une influence proportionnellement trop sensible sur les résultats. Il nous paraît, en particulier, difficile d'admettre que les courants d'induction développés sur le fer lui-même, par son mouvement de révolution devant les pôles d'un aimant, puissent être capables d'échauffer d'une manière sensible l'eau dans laquelle ce fer est plongé.

Le sujet mérite d'être encore étudié ; il est, comme nous l'avons dit, fort intéressant, et Mr. Joule a en tout cas le mérite de s'en être occupé le premier.

A. DE LA RIVE.

RECHERCHES SUR L'ACTION QU'EXERCENT L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉTAUX, par Mr. G. WERTHEIM. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 22 juillet 1844.)

L'objet de ce Mémoire est de rechercher si l'électricité et le magnétisme exercent une action quelconque sur l'élasticité des métaux.

La liaison entre les forces moléculaires et électriques est prouvée par le grand nombre d'effets mécaniques que le courant électrique peut produire, tels que désagrégation des conducteurs, transport de matière, etc. Cette liaison est tellement

intime, que plusieurs physiciens ne regardent l'électricité que comme une certaine modification des forces moléculaires. Il était donc naturel de supposer que l'élasticité pouvait être altérée par l'électricité, mais aucune expérience directe n'a été tentée jusqu'ici.

J'ai fait passer des courants intenses, provenant d'une pile de six couples de Bunsen, à travers des fils de différents métaux et de différents diamètres, attachés par en haut et chargés de différents poids. L'intensité de ces courants fut mesurée à l'aide d'un galvanomètre à larges plaques, qui avait été gradué au moyen de la méthode du double courant, due à Mr. Peltier. On détermine le coefficient d'élasticité, comme à l'ordinaire, en traçant deux points de repère sur le fil, et en mesurant, au moyen du cathétomètre, la distance de ces deux points, d'abord sous l'action d'une forte charge, puis avec une charge suffisante seulement pour tendre le fil. J'ai ainsi déterminé le coefficient d'élasticité de chaque fil dans son état naturel, puis pendant le parcours de courants de différentes intensités, et enfin après l'interruption du courant. La principale difficulté de ces expériences consiste dans l'élévation de température du fil.

En effet, l'élasticité peut être influencée de deux manières par le courant électrique : directement par une modification des forces moléculaires, et indirectement par l'effet de la chaleur qui réagit sur elle. Il fallait donc distinguer ce qui était dû à chacune de ces causes ; or, les résultats des expériences contenues dans mon premier Mémoire, donnent les coefficients de la variation du coefficient d'élasticité par l'élévation de température, et l'on trouve la température du fil au moyen de la longueur qu'il atteint sous l'action du courant et sans charge ; on pouvait donc calculer le changement du coefficient d'élasticité dû à l'élévation de température, et, en comparant ces coefficients corrigés à ceux que l'expérience donne, il était facile de décider si le courant exerce par lui-même une influence quelconque.

Pour contrôler les expériences précédentes, je me suis servi du son longitudinal de fils de 3 $^1/_2$ mètres de longueur ; car tout changement du coefficient d'élasticité produit un changement analogue dans le nombre des vibrations longitudinales. En employant des fils de cette longueur et d'un diamètre suffisant et des courants assez faibles, on peut rendre l'élévation de température tout à fait insensible; et malgré cela, le son baisse à l'instant même où l'on forme le courant, et il remonte quand on l'interrompt. Cet abaissement est donc réellement dû à l'action propre du courant.

Ce Mémoire contient ensuite quelques expériences sur l'influence du courant, sur la cohésion, et enfin sur l'action que l'électro-magnétisme exerce.

Nous savons avec quelle facilité le fer s'aimante quand il est martelé, tordu, etc. Mr. Lagerhjelm a observé que le fer, et surtout le fer doux, devient fortement magnétique par la rupture. En un mot, les forces mécaniques peuvent produire ou faciliter l'aimantation; mais réciproquement, quelle est l'influence de l'aimantation sur les forces moléculaires?

Pour résoudre cette question et pour étudier séparément l'influence des deux magnétismes, les fils et les bandes de fer doux et d'acier soumis à l'expérience furent recourbés de façon à former des fers à cheval de 1 mètre de longueur. Les branches parallèles de ces fers à cheval furent placées dans deux tubes de verre de 80 centimètres de longueur, recouverts dans toute leur longueur d'une double hélice, composée de neuf cents tours d'un gros fil de cuivre. Ces hélices communiquèrent entre elles et avec la pile et le galvanomètre. J'avais espéré obtenir ainsi une espèce de magnétisme sur chaque branche; mais dans des fils aussi minces que ceux que j'ai dû employer pour produire des allongements suffisants au moyen des poids, l'effet ne s'étend pas beaucoup au delà de la partie contenue dans la spirale, de sorte qu'une branche fut séparément aimantée. Ainsi, quand on fait passer le courant dans le

même sens à travers les deux spirales, on obtient un fer à cheval aimanté, ayant deux pôles homologues à ses deux extrémités.

Il faudrait donc pouvoir opérer sur un fer à cheval fait d'une grosse barre de fer doux et placé tout entier dans une hélice. Mais, malgré l'imperfection de mon appareil, j'ai pu obtenir des données sur l'action des deux magnétismes, en faisant marcher le courant en sens inverse dans les deux hélices.

Toutes ces expériences conduisent aux conclusions suivantes :

1° Le courant galvanique produit une diminution momentanée du coefficient d'élasticité dans les fils de métal qu'il parcourt, et cela a lieu par son action propre, et indépendamment de la diminution qui provient de l'élévation de température. Cette diminution disparaît entièrement avec le courant lui-même, quelque longue qu'ait été la durée de son action.

2° La grandeur de cette diminution dépend de la force du courant, et probablement aussi de la résistance que le métal oppose à son passage.

3° La cohésion des fils est diminuée par le courant ; toutefois la variabilité de cette propriété ne permet pas de distinguer si cette diminution est due à une action propre du courant, ou bien si elle provient seulement de l'élévation de température.

4° L'aimantation tant australe que boréale, excitée par le passage prolongé du courant, produit une petite diminution du coefficient d'élasticité dans le fer doux et dans l'acier. Cette diminution persiste en partie, même après l'interruption du courant.

RECHERCHES SUR LA CONCENTRATION DE LA FORCE MAGNÉTIQUE VERS LES SURFACES DES CORPS MAGNÉTISÉS, par Mr. le docteur DE HALDAT. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, du 6 mai 1844.)

J'ai publié, en 1828, une Notice sur la condensation de la force magnétique à la surface des aimants [1], dans laquelle j'ai rassemblé quelques-uns des faits les plus propres à éclairer une question dont la solution est propre à établir une nouvelle analogie entre les propriétés des corps à l'état électrique, et celles des corps qui possèdent la force magnétique; mais les faits que j'ai rapportés n'ayant été établis que sur un petit nombre d'expériences dont les résultats peu prononcés, variables, parfois équivoques, n'ont pu résoudre exactement la question, j'ai dû me livrer à de nouvelles recherches sur ce sujet.

A l'imitation de Nobili, qui l'a examiné avant moi, j'avais, dans mes premières expériences, cherché à reconnaître si; en formant des assemblages de fils de fer de diamètres divers, dont une partie magnétisée se plaçait au centre d'un faisceau formé de fils semblables à l'état neutre, la force magnétique passerait du centre à la surface du cylindre et s'y condenserait. Les résultats ayant été nuls en employant des fils d'acier qui, par leur force coercitive trop énergique, s'opposent à la propagation de la force magnétique, et s'étant montrés douteux pour les fils de fer non recuits, et même pour ceux qui l'étaient, j'y ai substitué des lames de tôle de fer minces, de 15 centimètres de longueur et de 15 millimètres de largeur, dont j'ai formé des faisceaux dans lesquels les lames qui occupaient

[1] *Mémoires de l'Académie de Nancy*, en 1828.

le centre avaient été magnétisées. Cependant ce mode qui semblait plus propre à la solution de la question s'étant encore montré inefficace, j'ai eu recours à des prismes creux d'acier qui recevaient dans leur intérieur des prismes de même substance magnétisés, qu'on pouvait en extraire après qu'ils y avaient séjourné le temps nécessaire à la propagation de la force magnétique. C'est à ce procédé que je suis revenu, mais en lui faisant éprouver des modifications propres à rendre la force magnétique communiquée plus énergique, plus constante, et par cela même plus facilement appréciable. Au prisme quadrilatère j'ai substitué un tube de fer doux, formé d'un tronçon de canon de fusil de 20 centimètres de longueur et de 22 millimètres de diamètre extérieur, qui, régulier, bien poli en dehors comme en dedans, admet dans sa capacité un cylindre plein, de 16 millimètres de diamètre et du poids de 340 grammes Ce tube est fermé à l'une de ses extrémités par un tampon de fer hermétiquement ajusté, et à l'autre par un bouchon à vis qui remplit l'espace vide et presse modérément le cylindre intérieur. Le cylindre extérieur est enveloppé d'un tube de cuivre très-mince, lequel est recouvert d'un fil de cuivre garni de soie de 1 millimètre de diamètre. Ce fil forme trois couches concentriques répondant aux deux extrémités et couvrant les deux tiers de l'enveloppe. Un couple cuivre-zinc d'une surface assez grande reçoit à ses deux pôles les extrémités de ces fils, qui développent dans le tube de fer la force magnétique dont l'intensité est mesurée par trois procédés différents.

Premier procédé. — 1° *Par les poids soutenus.* — Dans ce procédé, notre appareil, placé dans une direction verticale, est fixé au moyen d'une échoppe adaptée à l'une de ses extrémités; à l'autre s'adapte un contact de fer doux, qui peut recevoir des poids dont la masse exigée pour en opérer l'arrachement présente la force magnétique acquise à l'appareil par le courant que conduisent les fils qui en joignent les pôles. Six expériences faites à peu d'intervalle les unes des autres, afin de maintenir

plus d'égalité dans l'action de la pile, ont prouvé que la force acquise à l'appareil, qui était représentée par 4 kilogrammes, conservait la même intensité, soit que le tube de fer magnétisé par induction fût vide, ou qu'il fût rempli par le cylindre accessoire qu'on y introduisait. On connaît assez les difficultés qu'on rencontre dans l'appréciation de la force attractive des aimants par ce procédé, pour s'attendre à une détermination rigoureuse, soit à raison de l'inexactitude du contact entre les parties de l'appareil réunies par la force magnétique, soit à raison de la manière dont s'opère la séparation. Cependant, en faisant état de la conformité des résultats obtenus par ce procédé, avec ceux que l'on obtient par d'autres méthodes plus précises que nous ferons connaître, ils établissent, en général, 1° que la masse dans les aimants n'a que très-peu d'influence sur leur puissance; 2° que la force magnétique réside principalement, si ce n'est absolument, près de la surface des corps magnétisés.

Deuxième procédé. — 2° *Par les oscillations de l'aiguille.* — Ce procédé consiste à faire osciller une aiguille aimantée placée dans sa direction normale, à une distance constante de notre tube de fer doux, vide ou rempli de son cylindre additionnel, et à compter le nombre des oscillations qu'elle exécute en un temps donné, pendant que l'appareil est soumis à l'influence du courant qui le constitue à l'état magnétique. La distance du pôle nord de l'aiguille au pôle sud de l'aimant étant de 3 centimètres, elle a constamment donné soixante-cinq à soixante-dix oscillations doubles par minute, dont la moyenne, soixante-deux et demie, n'a offert que des différences de peu de valeur, soit que le tube ait été magnétisé lorsqu'il contenait son cylindre complémentaire ou qu'il était vide, soit lorsqu'il était rempli de limaille de fer bien tassée, ou qu'on y avait substitué un faisceau cylindrique de fils de fer doux propre à remplir sa capacité.

Troisième procédé. — 3° *Par les courants d'induction.* — L'appareil employé dans ce procédé se compose de deux parties, dont la première est notre tube de fer doux, pourvu ou privé de son cylindre additionnel, et armé de sa garniture de fils de cuivre couverts de soie ; il est pourvu de deux pièces de fer doux qui se fixent solidement à ses extrémités, par le moyen desquelles on le met en contact avec la seconde partie de l'appareil, aussi composée d'un cylindre de fer doux de 24 centimètres de longueur, de 2 centimètres de diamètre, et du poids de 500 grammes, armé, comme le tube, d'un manchon de cuivre mince enveloppé de fils de cuivre couverts de soie. La force magnétique est développée dans le tube de fer par un couple d'assez grande dimension, et dans le cylindre par l'induction de ce même tube de fer. Le cylindre d'induction communique par son armature avec une boussole de sinus dont l'aiguille indique la force magnétique développée dans le cylindre. Les expériences faites avec cet appareil comme susceptible de résultats plus exacts que ceux énoncés précédemment, ont été répétées un grand nombre de fois, et de deux manières différentes : 1° par la séparation violente des deux aimants, cas dans lequel l'aiguille de la boussole de sinus s'est écartée, terme moyen, de 15 à 20 degrés de la normale ; 2° en approchant lentement l'aimant induit du tube de fer armé ou aimant inducteur, et en n'établissant le contact entre les deux parties de l'appareil, que quand les pôles des deux aimants se trouvaient à une très-petite distance l'un de l'autre. L'aiguille prenant alors une direction très-voisine de celle qu'elle conserve ensuite, il est bien plus facile d'apprécier son écartement de la normale, mesure de la force magnétique du tube de fer doux qui forme la première partie de l'appareil. De toutes ces expériences réunies et comparées, il résulte donc que le tube qui remplit le rôle d'aimant inducteur, pourvu ou privé de son cylindre complémentaire (accessoire), qu'il ait été rempli d'une quantité suffisante de limaille de fer ou de faisceaux de fil de ce

métal, a constamment déterminé dans la boussole le même écartement de la normale.

La sensibilité assez faible de la boussole de sinus n'ayant donné que des indications limitées entre 15 et 20 degrés d'écartement de la normale, j'ai dû craindre qu'elles ne fussent insuffisantes : c'est pourquoi je les ai contrôlées en consultant l'aiguille magnétométrique de Schweigger, destinée à la mesure des courants thermo-électriques ou à fils courts. Elle a été disposée de la même manière que la boussole, après avoir toutefois diminué la puissance du courant par l'interposition d'un fil conducteur mince et de plusieurs mètres de longueur, et l'emploi d'un couple cuivre-zinc de très-petite dimension. Employée avec ces précautions, l'aiguille a présenté, terme moyen, une déviation constante de 40 à 45 degrés. Si maintenant nous examinons les faits que nous venons de rapporter, nous ne pouvons méconnaître le peu d'influence exercée par la masse dans les aimants par induction, et par conséquent dans tous les autres, quelle que soit leur espèce, puisqu'ils ne diffèrent entre eux que par la constance dans l'état magnétique, permanent dans les uns et transitoire dans les autres ; identiques enfin, selon la doctrine d'Ampère. Je me suis servi du terme *peu d'influence*, pour ne pas dire nullité absolue d'influence, parce que les expériences de ce genre ne sont pas susceptibles d'une rigoureuse exactitude. De cette conséquence il en résulte nécessairement une autre, dont le but est relatif à la constitution des aimants, c'est que l'on en augmenterait inutilement la masse, toutefois considérant que ce principe n'est exact qu'entre certaines limites qui dépendent de la nature chimique du métal, de la disposition intime de ses molécules constitutives, de la dureté de sa trempe et de sa forme : conditions que l'expérience peut seule apprécier. L'autre conséquence que nous tirons des faits précédemment exposés relativement à la théorie générale du magnétisme, et à laquelle il me semble impossible de refuser son assentiment, en se rappelant la nullité d'influence du cylin-

dre additionnel, c'est que *la force des aimants réside à la surface ou près de leur surface*. Les faits qui établissent ce principe nous offrent à la fois une analogie remarquable entre l'état magnétique et l'état électrique, et une différence qui n'est pas moins étonnante, c'est que le vide, qui exerce, comme on sait, une si grande influence sur l'un, est absolument impuissant sur l'autre.

Ces recherches relatives à l'influence exercée par la masse des corps sur la force qu'ils peuvent acquérir, ont des rapports trop directs avec la question relative à la puissance communiquée au fer par les courants, pour ne pas s'être offertes à ma pensée durant ce travail. Cette influence n'a pu sans doute être négligée par les physiciens qui, comme Mr. Jacobi, ont dirigé leurs vues vers l'emploi du magnétisme comme source d'un pouvoir dynamique susceptible d'être appliqué aux machines; mais comme, dans les questions d'une telle importance, on ne peut trop multiplier les faits, j'ai cherché dans quel rapport croît la force d'un aimant donné de masse et de volume sous l'influence des courants d'intensité variée. L'appareil employé à la solution de cette question était composé d'un petit fer cylindrique courbé en fer à cheval qui, redressé, aurait 40 centimètres de longueur, et dont le diamètre est de 20 millimètres, le poids de 500 grammes : il est inutile de dire qu'il est armé d'une garniture convenable de fils de cuivre couverts de soie. Le couple employé pour développer le magnétisme dans cet aimant temporaire était formé de lames de cuivre et de zinc de 400 centimètres carrés de surface. Cette paire cylindrique a été divisée en six bandes horizontales égales, qui devaient donner des courants dont on peut supposer les intensités proportionnelles aux surfaces immergées dans l'eau acidulée. Supposant donc cette égalité d'action entre les surfaces immergées dans un liquide excitateur, dont le volume est assez considérable pour conserver une activité égale durant les expériences, à raison du soin que l'on a de réparer les pertes qu'il *éprouve*,

et de rendre sa densité uniforme par une agitation réitérée, les résultats ont été tels qu'ils sont indiqués dans le tableau suivant :

Numéros des expériences.	Etendue des surfaces immergées.	Force employée pour séparer l'ancre de l'aimant.
1	1	5 kilogrammes.
2	2	10
3	3	15
4	4	17 à 18
5	5	15
6	6	13 à 14

La force attractive développée dans l'aimant temporaire a été mesurée par un dynamomètre fort exact : la force acquise dans les quatre premières expériences croît comme l'étendue de la surface du couple immergée ; elle décroît à partir de la quatrième, quoique l'étendue de la surface immergée croisse toujours dans le même rapport, ce qui indique que la surexcitation du fer, loin d'augmenter sa force magnétique, la diminue au contraire d'une manière très-remarquable. Ce résultat, qui me semblait digne d'un examen plus exact, a été vérifié par les oscillations de l'aiguille et par notre aimant cylindrique déjà employé, et dont les pôles sont armés de la même manière ; le liquide excitateur étant renouvelé, nous avons obtenu les résultats suivants :

Numéros des expériences.	Etendue de la surface de la pile employée	Nombre des oscillations de l'aiguille par minute.
1	1	90
2	2	120
3	3	150
4	4	170
5	5	160
6	6	145

Quoique les forces acquises par les courants dont la puissance croît comme les nombres 1, 2, 3, 4, n'offrent pas dans ces

deux tableaux un parfait accord, il n'en résulte pas moins que la puissance des aimants n'augmente pas comme celle des courants, et que par conséquent le développement de cette force a une limite au delà de laquelle elle ne peut être portée ; qu'il y a par conséquent une proportion à établir entre la masse du fer à magnétiser, sa surface, sa forme, et la puissance du courant employé à la développer, proportion qui doit être soigneusement établie quand on veut user de la force magnétique comme agent en mécanique.

NOTE SUR UN PROCÉDÉ DE GRAVURE PHOTOGRAPHIQUE, par Mr. H. Fizeau. (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences* du 8 juillet 1844.)

J'ai eu l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie, dans sa séance du 13 février 1843, des dessins photographiques sur papier, obtenus par l'application des procédés de l'impression en taille-douce à une planche daguerrienne, gravée par des agents chimiques sans le concours d'aucun travail d'artiste.

Dès le mois de juillet 1842, j'avais montré à plusieurs personnes, et déposé dans quelques collections, des épreuves résultant de mes premiers essais.

Depuis cette époque, j'ai continué à m'occuper de ce sujet avec persévérance, en m'appliquant à compléter, et surtout à régulariser les délicates manipulations du procédé.

Je soumets aujourd'hui à l'Académie de nouveaux résultats obtenus sur une plus grande échelle, et qui me semblent devoir donner une idée de l'importance et des applications du nouvel art.

L'image daguerrienne, dont la perfection est évidemment

nécessaire à la réussite de la gravure, avait été obtenue chez Mr. Lerebours; la transformation de cette planche daguerrienne en planche gravée a été effectuée sans aucun travail ni retouche d'artiste, mais par l'application seule du procédé dont je vais décrire les principes en peu de mots; j'espère en soumettre prochainement à l'Académie une description détaillée.

Le problème consistait, comme on le sait, à traiter les images daguerriennes par un agent qui creusât les parties noires sans altérer les parties blanches du dessin; en d'autres termes, qui attaquât l'argent en présence du mercure sans altérer ce dernier.

Un acide mixte, composé avec les acides nitrique, nitreux et chlorhydrique (ces deux derniers pouvant être remplacés par du nitrite de potasse et du sel marin), jouit précisément de cette propriété, laquelle appartient également à une dissolution de bichlorure de cuivre, mais d'une manière moins parfaite.

Lorsqu'on soumet une image daguerrienne, dont la surface est bien pure, à l'action de cet acide, surtout à chaud, les parties blanches ne sont pas altérées, tandis que les parties noires sont attaquées avec formation de chlorure d'argent adhérent, dont la couche insoluble arrête bientôt l'action de l'acide.

Une dissolution d'ammoniaque, employée alors, entraîne cette couche de chlorure d'argent, et permet de soumettre de nouveau la planche à l'action du même acide, qui, agissant encore de la même manière, augmente la profondeur des parties noires.

En opérant ainsi en plusieurs fois, on parvient à transformer la planche daguerrienne en une planche gravée d'une grande perfection, mais généralement de peu de profondeur; de sorte que les épreuves imprimées sur papier n'ont pas la vigueur convenable.

A cette première opération il a donc été nécessaire d'en ajouter une seconde qui permît de creuser plus profondément les parties noires de l'image.

Cette seconde opération consiste à dorer les parties saillantes, ou les blancs de la planche gravée, et à laisser l'argent à nu dans les creux, ce qui permet d'en augmenter la profondeur par l'action d'un simple dissolvant de l'argent.

Pour obtenir ce résultat, la planche gravée peu profonde dont je viens de parler, est graissée avec une huile siccative, de l'huile de lin, puis essuyée à la manière des imprimeurs en taille-douce ; de cette manière, l'huile reste dans les creux seulement, et y forme un vernis qui ne tarde pas à sécher.

Dorant alors la planche par les procédés électro-chimiques, on voit l'or se déposer sur toute la surface de la planche, excepté dans les parties creuses protégées par le vernis d'huile de lin. Après ce dorage, l'huile de lin est enlevée par de la potasse caustique.

Il résulte de là que la planche gravée a toutes ses parties saillantes protégées par une couche d'or ; ses parties creuses, au contraire, présentant l'argent à nu.

Il est dès lors facile, en traitant la planche par l'acide nitrique, d'attaquer ces parties creuses seulement, et d'en augmenter ainsi à volonté la profondeur.

Avant ce traitement par l'acide nitrique, la planche dorée est couverte par ce que les graveurs appellent un grain de résine, ce qui produit, dans le métal attaqué, ces nombreuses inégalités que l'on appelle grain de la gravure.

Il résulte de ces deux opérations principales, que la planche daguerrienne est transformée en une planche gravée, tout à fait semblable aux planches gravées de l'aquatinte, et dès lors pouvant, comme elles, fournir par l'impression un nombre considérable d'épreuves.

Cependant, l'argent étant un métal peu dur, le nombre des épreuves serait encore assez limité si un moyen très-simple ne permettait de soustraire la planche photographique à l'usure déterminée par le travail de l'impression.

En effet, pour atteindre ce but, il suffit, avant de livrer la

planche à l'imprimeur, de cuivrer sa surface par les procédés électro-chimiques ; de cette manière, il est évident que la couche de cuivre supporte seule l'usure produite par le travail de l'ouvrier. Lorsque cette couche est altérée d'une manière notable, il est facile, à l'aide d'un acide faible, de la dissoudre en totalité sans altérer l'argent sur lequel elle repose ; dès lors la planche peut être cuivrée de nouveau, et se trouve ainsi dans le même état que si elle n'avait pas supporté le travail de l'imprimeur.

SUR LA RÉDUCTION DU LAITON PAR LA VOIE GALVANIQUE, par Mr. H. JACOBI. (*Institut* n° 557.)

Il y a déjà longtemps, dit l'auteur, que Mr. de Ruolz a communiqué à l'Académie des sciences de Paris un procédé pour déposer une couche galvanique de bronze sur les autres métaux. Ce procédé consiste à dissoudre du cyanure de cuivre et de l'oxyde d'étain dans un certain rapport dans du cyanure de potassium, et à faire agir sur cette solution une batterie à courant constant. Comme ce procédé n'est pas très-pratique, surtout en ce que la liqueur, quand elle est épuisée, a besoin d'être renouvelée presque en entier, je me suis servi depuis longtemps du procédé suivant pour préparer, au lieu de l'alliage de cuivre et d'étain, un alliage de cuivre et de zinc ou de laiton ordinaire par voie galvanique.

Dans ce but, je prends une solution assez concentrée de cyanure de potassium, un anode de cuivre et un cathode d'un autre métal, et je fais agir dessus le courant produit par une batterie de Daniell composée de deux éléments au moins. Pendant que la liqueur se décompose, le cuivre se transforme peu

à peu en cyanure et se dissout dans le cyanure de potassium. La liqueur renferme donc une certaine proportion de cuivre et, aussitôt qu'elle est suffisamment riche, le cuivre commence à se déposer sur la surface du cathode à l'état métallique. Aussitôt qu'on aperçoit les premières traces de cette réduction, on interrompt l'opération, et au lieu d'une plaque de cuivre on suspend dans la liqueur une plaque de zinc. Dans cet état il se réduit toujours du cuivre, mais qui perd peu à peu sa couleur rouge et tourne au jaune du laiton. Lorsqu'on a atteint la couleur du laiton qu'on désire, on peut enlever l'anode de zinc et lui substituer un anode de laiton ordinaire. Le cathode qui n'a servi que pour les premières épreuves est de même enlevé et remplacé par l'objet qu'on se propose de recouvrir d'une couche de laiton. Les liqueurs de laiton préparées ainsi par voie purement galvanique, ainsi qu'il est permis de le dire, peuvent servir pendant un temps indéterminé, il n'est besoin pour cela que d'y ajouter de temps à autre un peu de cyanure de potassium. Il est indifférent de procéder d'abord avec le cuivre anode, ou le zinc anode ou d'une manière inverse. Je me suis même servi souvent de laiton anode quoique j'aie rarement ainsi obtenu la teinte désirée. Il se réduit toujours un peu de cuivre ou de zinc en excès. Si l'objet est brillant et poli, la première couche dont on le couvrira jouira des mêmes propriétés, et il n'y aura que lorsqu'elle sera plus épaisse qu'elle deviendra mate, ce qui est le caractère de la plupart des enduits galvaniques. La préparation de la solution ci-dessus est d'autant plus prompte que la solution de cyanure de potassium est plus concentrée. Lorsque cette solution est étendue, il est besoin, tant au commencement du travail que pour les réductions ultérieures, d'employer une batterie plus puissante de quatre paires et au delà. On peut modifier à volonté la coloration du laiton et obtenir une très-belle couche semblable au tomback, lorsqu'on fait usage simultanément avec l'anode de laiton d'un anode de cuivre d'une surface plus ou moins étendue.

Le procédé qui vient d'être décrit peut être employé avec avantage pour couvrir d'une couche de laiton du cuivre déjà réduit galvaniquement. Il est très-commode pour donner aux objets galvanoplastiques un bronzé imitant la patine antique que le cuivre, comme on sait, ne prend qu'avec difficulté; mais il est surtout avantageux quand il s'agit de recouvrir de laiton des objets de luxe ou d'un emploi usuel, ce qui ne peut se faire par une sorte de plaqué du laiton réduit en feuille très-mince, plaqué qui, lorsque les formes sont un peu compliquées, est d'une exécution très-longue et très-dispendieuse.

On sait que dans les liqueurs électrolytiques qui renferment en même temps en dissolution plusieurs sels à bases métalliques, par exemple du sulfate de cuivre et du sulfate de zinc, ou bien du nitrate d'or ou du nitrate de cuivre, les métaux négatifs se réduisent bien plus facilement et en plus grande proportion que les métaux positifs. Dans les dissolutions de sulfate de cuivre rendues impures par une forte proportion de zinc ou de fer, le cuivre, quand on le met en action à l'aide d'une faible batterie, s'en sépare presque jusqu'aux derniers atomes, sans accuser le moindre mélange de matières étrangères. Il m'a semblé indubitable que dans le mélange de divers cyanures métalliques il devait se présenter un phénomène tout contraire, de façon, par exemple, que le zinc, quoique jouant le rôle de métal positif, devait se réduire plus facilement que le cuivre. Pour communiquer une couleur rougeâtre au laiton réduit, il faut donc qu'il y ait constamment présence de cuivre en grand excès et que l'action soit plus prolongée que dans le cas contraire. Toutefois, comme des expériences précises sur les diverses circonstances qui doivent s'offrir dans ce cas n'ont point encore été tentées, je me contenterai de cette simple observation qui ne sera pas peut-être sans utilité pour les applications pratiques du procédé qui vient d'être décrit.

Mr. Becquerel a réclamé sur Mr. de Ruolz la priorité relativement à la réduction galvanique des alliages qu'on opère à

l'aide de certains mélanges en proportions définies, et il allègue dans ce but une expérience qui en réalité ne prouve rien. Il me semble qu'il ne convient pas d'anticiper sur une découverte très-importante d'ailleurs sous le rapport de la théorie et de la pratique dans cette partie, mais qui restait tout entière à faire. Avec plus de raison on pourrait ne considérer les alliages métalliques opérés par mon procédé et par l'autre que comme des mélanges, en quelque sorte homogènes, semblables aux alliages qu'on obtient dans la plupart des cas par la fusion. Par ce dernier moyen on peut bien mieux établir un rapport déterminé entre les éléments qu'avec les alliages galvaniques dont les lois de formation sont encore inconnues.

Dans la réduction de l'or et de l'argent je me suis servi depuis longtemps d'un procédé analogue, c'est-à-dire que je ne prépare pas de solutions chimiques d'or ou d'argent, mais que je les obtiens en me servant de cyanure de potassium, et par voie galvanique en faisant usage des anodes de ces métaux. On peut obtenir des alliages d'or et de cuivre de la même manière que celle que nous venons d'indiquer pour les alliages de laiton à l'aide d'anodes de cuivre dans des solutions de cyanure d'or, ou réciproquement d'anode d'or dans des solutions de cyanure de cuivre. Toutefois, en se servant simultanément de solutions de cyanure d'or et de cyanure d'argent, on trouve, ainsi que l'expérience l'a fréquemment démontré, cette circonstance remarquable, savoir, que même pour une très-faible proportion d'argent et un grand excès d'or, l'argent, quoique constituant le métal le plus positif, se réduit bien plus facilement, et que jusqu'à ce qu'il soit à peu près épuisé il communique à l'or une couleur jaune pâle remarquable qui vire légèrement au verdâtre. D'après ce qui a été dit précédemment, le zinc se comporterait donc de la même manière.

Les objets mis sous les yeux de l'Académie par Mr. Jacobi, à la suite de cette communication, sont, les uns en étain, les autres en fer; ils ont été recouverts d'une couche épaisse de

laiton qui, d'après la variété dans les tons et la coloration qui leur ont été données lors de la réduction, démontre qu'il existe différents rapports dans les métaux qui constituent les différents alliages.

RAPPORT ENTRE LE SENS DU COURANT ÉLECTRIQUE ET LES CONTRACTIONS MUSCULAIRES DUES A CE COURANT, par MM. Longet et Ch. Matteucci. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, du 9 septembre 1844.)

Les physiciens ont étudié, jusqu'à présent, l'action du courant électrique, à *direction différente*, spécialement sur les nerfs lombaires et sciatiques des animaux, c'est-à-dire sur des cordons nerveux qu'on appelle *mixtes*, parce qu'ils sont composés de filets dont les uns conduisent les impressions, et les autres, le principe de la contraction musculaire.

Cette étude a démontré que si, dans une première période, des contractions surviennent dans les muscles inférieurs, en fermant comme en ouvrant le circuit, quelle que soit la direction du courant, il apparaît bientôt une autre période persistante, dans laquelle les contractions n'ont plus lieu qu'*au commencement du courant direct, et à l'interruption du courant inverse*.

Telle est l'unique loi générale, admise aujourd'hui, sur la relation du sens des courants électriques avec les contractions musculaires qu'ils excitent en passant dans les nerfs des animaux vivants ou récemment tués.

Nous avons voulu savoir si cette loi, établie par des expériences exécutées seulement sur des nerfs mixtes, serait applicable ou non à des parties du système nerveux dont l'action n'est que centrifuge ou exclusivement motrice ; c'est assez dire

que nos recherches ont dû être d'abord dirigées sur les racines spinales antérieures et sur les faisceaux correspondants de la moelle épinière.

Dans ces recherches, il importe beaucoup de soumettre toujours la même racine antérieure au même courant ; d'employer celui-ci d'abord tellement faible qu'il donne à peine lieu à des contractions ; de ne pas s'arrêter aux premiers phénomènes qui, à cause de la trop grande excitabilité de la racine, ne sont jamais bien nets, mais de continuer l'usage du même courant jusqu'à ce qu'un effet durable et constant apparaisse ; d'isoler surtout la pile[1] avec le plus grand soin : sans cette dernière précaution, il serait impossible de connaître la direction du courant dans le nerf, et les résultats seraient équivoques.

La racine spinale antérieure a été soumise aux courants galvaniques *direct et inverse*, dans les quatre conditions suivantes : la racine antérieure et la postérieure correspondante étant intactes ; l'une et l'autre divisées ; la postérieure intacte et l'antérieure divisée ; la postérieure divisée et l'antérieure intacte.

Dans tous ces cas, les contractions du muscle, ou des muscles animés par la racine antérieure sur laquelle on agit, se manifestent d'abord confusément au commencement et à la fin du courant, quelle que soit sa direction ; mais, après un certain temps (un peu plus long si la racine antérieure adhère encore à la moelle), les effets deviennent nets et durables : les contractions n'ont plus lieu qu'*au commencement du courant inverse et à l'interruption du courant direct*.

Cette complète opposition avec ce qu'on observe sur les nerfs mixtes (le sciatique, par exemple, ou le nerf rachidien pris immédiatement au-dessous du ganglion intervertébral), nous a engagés à répéter les expériences un grand nombre de

[1] La pile à auges est dans ce cas la plus commode, parce qu'elle permet de varier le nombre des couples autant de fois qu'on le veut pendant la durée de chaque expérience.

fois sur divers animaux : leurs résultats, constatés chez le cheval, le chien, le lapin et la grenouille, ont été invariables.

Mais, pour les reproduire avec certitude, chez la grenouille, il est indispensable (à cause du peu de longueur des racines, de l'extrême facilité avec laquelle l'excitation galvanique se transmet au delà du ganglion intervertébral, et par conséquent au nerf rachidien mixte), de prendre certaines précautions qui, quoique bien simples, ne se sont révélées à nous qu'après des essais longtemps réitérés. Après avoir séparé la moelle de l'encéphale, et ouvert le rachis du côté de la cavité abdominale, on glisse des languettes de taffetas vernis au-dessous des racines lombaires antérieures, laissées adhérentes à une suffisante longueur de la moelle épinière; puis, ayant coupé tous les nerfs lombaires du côté opposé à celui de l'expérience, on applique l'extrémité d'un réophore sur la partie antérieure de la moelle, et l'extrémité de l'autre sur un point de la racine antérieure assez rapproché de cet organe. Dans ce cas, les effets se manifestent bientôt d'une manière aussi tranchée que chez le chien, c'est-à-dire que les contractions du membre abdominal ne s'observent que dans deux cas, au commencement du courant inverse et à l'interruption du courant direct. Mais si, appliquant les deux réophores sur la racine antérieure elle-même, vous vous rapprochez du ganglion intervertébral, et que l'excitation soit transmise au nerf mixte situé immédiatement au-dessous de ce ganglion, vous verrez les phénomènes se renverser, et apparaître tels qu'ils ont lieu avec les nerfs qui n'ont pas, comme les racines antérieures, une action exclusivement centrifuge.

Un fait digne de remarque, c'est qu'en continuant à faire passer un courant dans les racines antérieures divisées (chez le cheval, le chien, etc.), on voit les contractions musculaires, excitées par le courant inverse qui commence, persister beaucoup plus longtemps que celles dues au courant direct qui cesse.

Nos expériences sur les faisceaux blancs antérieurs de la

moelle épinière, exécutées sur des chiens, des lapins, des grenouilles, et sur une couleuvre à collier (*Coluber natrix*), nous ont démontré que ces faisceaux se comportent avec les courants *direct* et *inverse* à la manière des racines antérieures, nouvelle preuve de la mission exclusivement motrice de la partie blanche antérieure de la moelle.

En résumé, l'influence du courant électrique diffère totalement quand elle s'exerce sur les nerfs exclusivement moteurs dont l'action n'est que centrifuge, ou sur les nerfs mixtes dont l'action est à la fois centrifuge et centripète. Les premiers excitent les contractions musculaires, seulement au commencement du courant inverse, et à l'interruption du courant direct; tandis que les seconds ne les font apparaître qu'au commencement du courant direct et à l'interruption du courant inverse. Cette action différente et remarquable des courants électriques sur les nerfs seulement moteurs ou à la fois moteurs et sensitifs, nous paraît devoir fournir un moyen sûr pour distinguer ces nerfs les uns des autres, et pouvoir servir par conséquent à élucider une question qui divise encore aujourd'hui les physiologistes, celle de savoir s'il existe ou non des nerfs mixtes dès leur origine.

Quelques physiologistes allemands ayant regardé récemment la substance grise de la moelle épinière comme indispensable à la transmission des impressions et du principe des mouvements volontaires, nous croyons devoir déclarer, en terminant cette Note, que, chez le chien, nous l'avons constamment trouvée insensible et inapte à provoquer des secousses convulsives, sous l'influence de l'électricité et des irritants mécaniques; que sa destruction dans une longueur aussi grande que possible, à l'aide d'un stylet, n'a aucunement modifié la sensibilité des faisceaux médullaires postérieurs, ou l'excitabilité des antérieurs.

Ajoutons enfin que, toute *action reflexe* ayant disparu dans le bout caudal de la moelle divisée, chez le chien, la stimulation

des faisceaux postérieurs n'a jamais donné lieu à la moindre contraction musculaire, quel que fût d'ailleurs le sens du courant électrique. Il en est de même des racines postérieures après qu'on les a séparées de la moelle. Au contraire, quand elles adhèrent encore à cet organe, que le courant soit inverse ou direct, *c'est toujours en fermant le circuit* qu'elles provoquent des secousses convulsives, qui d'ailleurs ne sont dues évidemment qu'à une action reflexe sur les racines antérieures, puisque la section de ces dernières fait cesser à l'instant même toute contraction.

DE LA COULEUR BLEUE QUE PREND LE FER, ET DU RAPPORT QU'IL Y A ENTRE CE PHÉNOMÈNE ET L'ÉTAT PASSIF QUE PRÉSENTE LE MÊME MÉTAL, par W. BEETZ. (*Pogg. Ann.*, 1844, n° 6.)

Mr. Schœnbein est le premier physicien qui ait attiré l'attention des savants sur la circonstance que le fer dans certains cas n'est point attaqué par les acides, et qu'il se conduit comme du platine quand il sert, dans une solution conductrice, d'électrode positif au courant voltaïque. Il a décrit les différents moyens par lesquels on peut imprimer au fer ce caractère passif, et les phénomènes variés que présente cette passivité. Mr. Martens, qui s'est occupé aussi du même sujet, a confirmé les résultats qu'avait obtenus Mr. Schœnbein et y a ajouté quelques faits que nous avons fait connaître à nos lecteurs. Il a, en particulier, cherché à montrer que la couleur bleue que prend le fer lorsqu'il est échauffé n'est pas due à une oxidation de ce métal, puisqu'on peut lui donner cette même couleur en le chauffant dans une atmosphère d'hydrogène préalablement desséché et

bien purifié. Il prend aussi dans cette circonstance l'état passif, d'où Mr. M. conclut : 1° que la couleur bleue que prend le fer n'est pas due à une oxidation ; 2° que la passivité que le fer acquiert par l'effet de son exposition à une température élevée est également indépendante de son oxidation.

Mr. Beetz a repris cette question et a soumis à de nouvelles épreuves les conséquences que Mr. Martens avait cru pouvoir tirer de ses recherches. Il en résulte que, conformément à ce que nous avions nous-même cru pouvoir assurer en rendant compte du travail de Mr. Martens [1], l'état passif, comme la couleur bleue que revêt le fer, tient bien à une modification chimique et plus particulièrement à une oxidation qu'éprouve sa surface.

Sir H. Davy avait déjà remarqué que la couleur bleue que prend le fer chauffé dans l'air est due à une oxidation, et que dans l'hydrogène elle est due à la présence d'une substance étrangère qui n'est pas nécessairement de l'oxigène. Il avait également remarqué que, chauffé dans un bain d'huile d'olives pur, le fer ne bleuit pas. Mr. Martens n'a pas essayé de chauffer le fer dans un liquide ; il s'est contenté de laver et de sécher avec soin le gaz hydrogène avant d'y placer le fer. Mr. Beetz a répété l'expérience de Mr. M., en prenant toutes les précautions imaginables pour dépouiller l'hydrogène de toute espèce de substance étrangère. Il l'a fait passer à travers une dissolution d'oxide de plomb dans de l'eau de potasse, à travers un appareil à boules rempli d'acide sulfurique, à travers de la potasse caustique fondue, renfermée dans un tube de $^3/_4$ de pied de longueur, à travers un tube de deux pieds de longueur rempli de chlorure de calcium fondu, enfin, pour enlever les dernières particules d'oxigène, à travers un tube rempli de potassium à l'état bien métallique. De là le gaz passait dans un tube de verre dont une des extrémités recourbée plongeait dans du

[1] Voyez *Arch. de l'Électr.*, t. III, p. 574 (1843).

mercure, de l'huile ou encore mieux dans un bain du métal de Rose. Le fil de fer, chauffé dans cet hydrogène ainsi purifié et desséché, bleuissait encore ; il bleuissait également dans de l'acide carbonique qui avait passé à travers une dissolution concentrée de carbonate de potasse, à travers de l'acide sulfurique et un tube rempli de fragments de craie et de chlorure de calcium.

L'emploi de toutes ces précautions ne permettait guère d'admettre que le phénomène pût être dû à la présence d'une petite quantité d'oxigène. Il se pouvait plutôt qu'il fût dû à la décomposition de quelque substance provenant du zinc qui avait servi à produire l'hydrogène, conjecture d'autant plus vraisemblable que le gaz n'était pas sans odeur. Pour éviter cet inconvénient, Mr. B. eut l'idée d'employer du gaz hydrogène provenant de la décomposition voltaïque de l'eau ; il eut soin de le purifier et de le dessécher avec les mêmes précautions qu'il avait employées pour le gaz provenant du zinc, et cependant il vit le fer chauffé dans cet hydrogène prendre encore la couleur bleue.

Cependant, après une observation attentive de tous les détails de ses expériences, Mr. B. les trouva singulièrement favorables à l'opinion qui attribue à une oxidation la couleur bleue que prend le fer. En effet, quand il n'y avait plus dans l'hydrogène aucune trace d'oxigène libre, le fer ne commençait à bleuir que sous l'action d'une chaleur rouge passablement vive; dès que la couche bleue avait commencé à se montrer, on faisait revenir le fer à la chaleur rouge sombre, et alors l'hydrogène commençait à réduire l'oxide de fer, la teinte bleue disparaissait complétement et ne reparaissait pas par le refroidissement. Mais si, après avoir vu le métal bleuir sous l'action de la chaleur rouge vive, on le retirait immédiatement, il conservait sa couleur. C'était donc à cette température du rouge vif qu'avait dû se dégager l'oxigène, qui avait formé aussitôt une couche d'oxide sur la surface du fer ; cette couche s'était dé-

composée sous l'action de l'hydrogène, à la température à laquelle s'opère la réduction du fer et n'avait pu se reproduire à une température plus basse.

Dans de l'acide carbonique également purifié et desséché comme cela a été indiqué, le fer n'a bleui qu'à la chaleur rouge, puis n'a plus perdu sa couleur à aucune température.

Il résulte des expériences qui précèdent, que le phénomène de la couleur bleue que prend le fer a toujours pour cause la présence de légères traces d'eau qui sont décomposées à la température de la chaleur rouge et qui se reforment de nouveau à une température plus basse. Dans le cas de l'hydrogène obtenu par la décomposition voltaïque de l'eau, il est très-possible que le gaz ne soit pas entièrement dépouillé de vapeurs aqueuses; dans le cas de l'hydrogène obtenu de la décomposition de l'eau par le zinc, Mr. B. croit, vu les précautions qu'il a prises, ne pouvoir admettre la présence de la moindre proportion d'eau dans le gaz. Il croit que c'est par le fil de fer lui-même que pénètre dans le tube la plus forte proportion d'eau. Cette humidité est adhérente au fil, et on a beaucoup de peine à l'en dépouiller; ce n'est qu'en le tenant longtemps à une température de 100° avant de le chauffer au rouge, qu'on peut l'en dépouiller. Il faut aussi avoir soin que le fil ne présente aucune trace d'oxide, car en le chauffant dans l'hydrogène on opérerait la réduction de cet oxide, et l'eau ainsi produite serait décomposée à son tour.

Rien n'est donc plus difficile que d'éviter la présence des vapeurs aqueuses; en particulier, pour obtenir des gaz parfaitement secs, il faut les faire cheminer très-lentement à travers l'appareil de dessèchement; par exemple, quand les bulles de gaz ne se succédaient qu'à des intervalles d'une demi-seconde environ, le fer ne bleuissait pas en étant chauffé dans le gaz ainsi obtenu. Enfin la quantité d'oxigène nécessaire pour bleuir le fer est si faible, qu'on ne peut l'apprécier aux balances les plus sensibles, même sur un fil du poids de 10,57 grammes.

Une circonstance qui fait bleuir quelquefois le fer chauffé dans un courant d'hydrogène, c'est lorsqu'on reverse de l'acide sulfurique dans le flacon où se dégage le gaz; il paraît que cet acide contient en dissolution une assez grande quantité d'acide sulfureux, laquelle est entraînée par le gaz hydrogène qui est produit; aussi remarqua-t-on que le fer qui n'avait point encore bleui, bleuissait tout à coup quelques instants après cette addition d'acide sulfurique.

Cependant, quand on a réussi à chasser par les divers moyens indiqués l'air et les vapeurs aqueuses, on peut chauffer le fil de fer aussi longtemps qu'on veut, même jusqu'au rouge vif, sans apercevoir sur sa surface aucune trace de couleur bleue. Le fer ne bleuit pas non plus dans le mercure en ébullition, ni dans les métaux à l'état de fusion.

Quant à la passivité que le fer acquiert par l'effet d'une température élevée, elle est donc évidemment due à la légère pellicule dont sa surface se recouvre. Un fil qui a été fortement chauffé dans l'hydrogène ou dans un métal en fusion, et qui n'a pas pris la couleur bleue, est aussi fortement attaqué par l'acide nitrique qu'un fil de fer ordinaire. Mr. Martens dit cependant qu'un fil de fer dont il avait enlevé la couleur bleue en y passant légèrement la lime, n'était pas attaqué. Mr. B. dit que toutes les fois qu'en opérant ainsi il a complétement décapé la surface, il a vu le fil de fer être parfaitement actif.

L'auteur termine son travail en citant une expérience qui fait voir qu'il ne faut pas confondre l'état du fer qui dans un acide conserve son éclat métallique, avec celui du fer bleui. Si l'on plonge dans de l'acide sulfurique étendu deux fils de fer ayant leur éclat métallique, comme électrodes du courant produit par un couple de Grove, l'eau est fortement décomposée et l'électrode positif se noircit. Mais ce même électrode devient bientôt passif, et la décomposition de l'eau cesse d'avoir lieu; en même temps la pellicule d'oxide noir se détache de l'électrode positif, qui reprend tout son éclat métallique. Si

on fait bleuir les fils de fer avant de s'en servir comme électrodes, le fil négatif se désoxide et reprend l'éclat métallique, mais la décomposition de l'eau continue sans que le fil positif qui reste bleu éprouve de modification; si l'on change le sens du courant, le fil qui pendant son rôle d'électrode négatif avait repris son éclat métallique, devenant électrode positif, noircit comme dans le cas précédent, et la décomposition de l'eau s'arrête.

Nous ne pouvons terminer cet extrait des recherches de Mr. Beetz sans le remercier d'avoir, par le soin qu'il a apporté à ses expériences, montré combien il faut peu se hâter de prononcer qu'il n'y a pas d'actions chimiques, dans des phénomènes où il y a en jeu des agents tels que des gaz, des liquides, des métaux et la chaleur. Ce qu'il y a de difficile, ce n'est pas de provoquer des actions chimiques dans les cas même où il semblerait presque impossible d'en avoir, mais bien de les prévenir et d'être parfaitement assuré qu'on en est à l'abri.

A. DE LA RIVE.

APPLICATION DE L'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE AUX ARTS, par MM. Elkington.

Sous ce titre MM. Elkington ont publié un petit fascicule de 32 pages, dans lequel ils exposent rapidement les procédés au moyens desquels on parvient à fixer solidement, à l'aide du courant voltaïque, une couche d'un métal sur la surface d'un autre, en un mot à dorer, à argenter, à cuivrer, etc.

Nous ne nous arrêtons pas à la description des appareils ; ce sont des piles de différentes espèces, des solutions métalliques de natures diverses, toutes bien connues de nos lecteurs. Les auteurs recommandent de proportionner la *quantité* de l'électricité à l'étendue de la surface qui doit être recouverte d'une couche métallique ; et l'*intensité* au degré de facilité plus ou moins grand avec lequel la solution peut être décomposée. Ils insistent aussi sur la nécessité de dépouiller avec soin de toute couche de graisse et d'oxide la surface des métaux qui doivent être plaqués, et, dans ce but, de les plonger dans une solution bouillante d'alcali caustique, de les frotter avec de l'eau et du sable, et de les plonger dans de l'eau acidulée ce qui achève de faire disparaître toute trace d'oxide. Quelquefois l'immersion préalable du métal dans une solution étendue de nitrate ou de cyanure de mercure est avantageuse, quand le métal a un peu d'affinité pour le corps qui tient en dissolution celui des métaux dont le dépôt doit s'opérer sur la surface du premier.

Je passe maintenant à quelques observations que la pratique des opérations a fait faire à MM. Elkington, et qui me paraissent présenter de l'intérêt.

Dureté des métaux déposés.

On croit généralement que les métaux qui sont déposés par l'électricité sont *doux* parce qu'ils sont à un état de grande pureté; cependant il paraîtrait que la dureté du métal déposé dépend de l'intensité de la batterie; une batterie de trois ou quatre paires produit de l'argent suffisamment dur pour rayer de l'argent ordinaire en feuille, tandis qu'il n'est pas rayé par celui-ci. Avec 12 ou 15 paires, la dureté du métal qu'on obtient est si grande qu'un outil d'acier ne peut même le polir.

Pesanteur spécifique des métaux déposés.

Les expériences faites jusqu'ici ne permettent pas encore de donner une table des pesanteurs spécifiques qui correspondent à différentes dispositions de la batterie; cependant elles autorisent à arriver déjà à quelques conclusions.

On peut dire, en général, que les solutions déjà épuisées donnent un dépôt métallique d'une densité inférieure, tandis qu'avec les solutions plus riches on obtient une densité supérieure. Une batterie de deux à quatre paires, avec une solution à l'état normal, produit un dépôt métallique dont la densité est celle du métal battu ordinaire, et qui augmente à mesure que l'intensité du courant s'accroît; il serait donc possible de n'entrevoir aucune limite dans l'accroissement de l'intensité, pourvu que la batterie et la solution fussent à cet égard dans les conditions favorables. Quand on obtient un dépôt métallique poreux, cela tient à une mauvaise manière d'opérer, et à ce qu'on n'a pas eu égard à la nécessité d'établir un rapport convenable entre la force de la batterie et celle de la solution employée.

Avantages que présente l'électricité pour faire le plaqué d'argent.

1° On n'est point limité dans le choix du métal sur lequel

on peut opérer le plaqué. MM. Elkington emploient comme base de tous les objets plaqués un métal dur et blanc, qui a la sonorité et à peu près la couleur de l'argent (packfong).

2° On n'est pas astreint à l'emploi de la soudure molle, qui fond à une température très-peu élevée et qui forme un ciment insuffisant, sans compter qu'il empêche tout à fait la sonorité de l'article où on en fait usage. Quand il faut confectionner des objets à très-bas prix, on peut employer ce mode de soudure avec le procédé électrique aussi bien qu'avec d'autres, mais il a toujours l'inconvénient que nous venons de signaler. L'emploi de l'électricité permet de faire usage de ce que MM. Elkington appellent une *soudure forte à l'argent*, qui n'est point affectée par une élévation de température un peu considérable, et qui présente des joints aussi parfaits que si le métal était continu.

3° L'emploi de l'électricité fait qu'on n'est point obligé, en vue d'obtenir des articles d'ornement, de former des modèles pour les différentes pièces d'un même article, pièces qu'il faut ensuite réunir de manière à former un tout peu solide en les chargeant de plomb pour les souder. L'artiste qui travaille d'après le procédé électrique fait, conformément à son goût, un modèle dont il reproduit une copie exacte en le moulant, puis il le dore ou l'argente ensuite.

4° Tout ce qui a été dit en faveur des bords en argent par les partisans de l'ancien mode de procéder, peut être aussi bien dit par les défenseurs du nouveau, car rien n'empêche de les employer quand on plaque par le moyen de l'électricité, si décidément leur emploi présente de l'avantage.

5° L'adhérence de la couche déposée avec le métal qu'elle recouvre est aussi parfaite qu'on peut le désirer dans le procédé électrique, sans qu'il soit nécessaire d'employer l'intermédiaire de quelque substance. Les fourchettes et les cuillers plaquées par le moyen de l'électricité présentent toutes les qualités de l'argent. Toutes celles qui sortent de la fabrique de MM. Elkington sont éprouvées avant d'être polies, par leur exposition à la chaleur rouge dans un fourneau.

Les auteurs énumèrent encore quelques avantages pratiques du procédé électro-chimique. Ils donnent également quelques détails sur différents moyens d'obtenir des copies galvano-plastiques des objets en creux et en relief Ils indiquent aussi une préparation de phosphore combiné avec de la cire, qui se recouvre facilement d'une couche très-mince d'or et d'argent, comme propre à remplacer avantageusement la plombagine dans son rôle de couche conductrice, dont on recouvre l'empreinte de cire pour y déterminer le dépôt métallique.

Quand on se sert de sulfate de cuivre pour recouvrir de ce métal d'autres métaux, il faut ajouter à la dissolution du sel une petite quantité de potasse ou de soude caustique, jusqu'à ce qu'on voie que le précipité que ces substances forment n'est plus dissous par le liquide. L'alcali s'emparant d'une partie de l'àcide, il se forme un nouveau sel métallique, dans lequel, pour un atome d'acide, il y en a *deux* ou *trois* de cuivre, en sorte que l'on obtient un dépôt de cuivre plus rapidement et à meilleur marché, puisque la décomposition opérée par le même courant libère une plus forte proportion de cuivre. Il est nécessaire seulement d'ajouter de temps à autre un peu d'alcali, pour neutraliser l'acide qui devient libre.

Le sel de cuivre le meilleur à employer, pour recouvrir le fer d'une couche de cuivre, est le cyanure de potassium et de cuivre. On le prépare en prenant des cristaux de sulfate de cuivre secs et purs, qu'on dissout dans l'eau et qu'on précipite par le ferro-cyanure de potassium ; on lave le précipité et on le dissout dans le cyanure de potassium et de l'eau. Quand on a bien décapé le fer en le maintenant dans une solution d'acide sulfurique un peu chauffée, on le place dans la solution du cyanure dont on élève la température à 120° F. (49° C.) environ, et on le met dans le circuit voltaïque. Dans un intervalle de deux à cinq minutes il est complétement recouvert de cuivre; on le frotte alors avec du sable et on le place dans la solution de sulfate.

L'application du zinc sur le fer est facile ; il suffit d'avoir une dissolution de sulfate de zinc dans la proportion d'une livre de sulfate de zinc sec et cristallisé pour un gallon d'eau, proportion qui paraît être la meilleure. Il n'est pas nécessaire que le courant ait une grande intensité, pourvu que sa quantité soit en rapport avec l'étendue de la surface de fer à recouvrir de zinc.

Une nouvelle application de l'électro-métallurgie, pour laquelle MM. Elkington ont obtenu une patente, est celle qu'ils en ont faite à des vêtements métalliques qui peuvent résister à l'action de l'atmosphère, comme à celle de l'eau et du feu, et qui sont, en outre, si légers qu'une surface de 9 pieds carrés ne pèse que 18 onces. Pour les obtenir, on fixe sur une surface de cuivre la toile, le tissu de coton ou de laine, on plonge le tout dans une solution de cuivre ou d'un autre métal, en ayant soin de mettre la plaque de cuivre en communication avec le pôle négatif d'une batterie dont le pôle positif plonge dans la même solution. Le métal de la solution qui est décomposée tend à se rendre sur la plaque de cuivre négative, et s'insinue ainsi dans tous les pores du tissu, en formant une feuille métallique parfaite.

A. DE LA RIVE.



DE LA PRÉCIPITATION DES MÉTAUX PAR D'AUTRES MÉTAUX, par Mr. BECQUEREL. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, du 18 mars 1844.)

CHAPITRE PREMIER. — *Considérations générales.*

Dans les deux précédents Mémoires [1], je me suis attaché à exposer les principes généraux à l'aide desquels on parvient à déposer électro-chimiquement les oxides sur les métaux, en couches plus ou moins minces, d'où résultent des couleurs analogues à celles des lames minces de Newton; j'ai cherché également à résoudre toutes les questions techniques qui s'y rapportent, afin que, immédiatement et sans difficulté, l'industrie pût se servir de ce nouveau mode de coloration ; j'ai donné en outre un vernis très-puissant, à l'aide duquel on préserve de toute altération les couleurs produites, à l'exception du bleu du premier et du second ordre. Une seule difficulté arrêtait, c'est celle de la coloration des grandes surfaces de cuivre; mais j'ai reconnu depuis qu'on la lève facilement en se servant d'un appareil dont le nombre de couples et l'étendue des surfaces de chaque élément sont en rapport avec l'étendue des surfaces à colorer. Dès l'instant que je fus parvenu au but que je me proposais, je me suis occupé de résoudre la même question à l'égard des dépôts de tous les métaux sur différents métaux, en m'appuyant sur un principe général facile à mettre en pratique. Celui qui m'a paru le mieux convenir est l'immersion à une température élevée dans une dissolution neutre d'un double

[1] Voyez *Archives de l'Électricité*, année 1843 (t. III), p. 345, et année 1844 (t. IV), p. 74.

chlorure métallique et alcalin, en m'aidant quelquefois de l'action voltaïque. Dans le Mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, sont consignés les résultats généraux auxquels je suis parvenu, en examinant seulement la question sous le point de vue scientifique, remettant à la traiter à une autre époque sous le point de vue industriel, parce que les applications exigent une foule de recherches, de détails minutieux, qu'une longue pratique peut seule faire acquérir.

« La précipitation des métaux de leur dissolution respective par d'autres métaux plus oxidables a été mise à profit pour les besoins des arts depuis les temps les plus reculés. Cette question est aussi d'une grande importance pour la chimie générale, soit que le métal précipité se trouve à l'état pulvérulent, soit qu'il adhère avec plus ou moins de force sur le métal précipitant. Je vais l'envisager sous le point de vue le plus général, afin d'essayer de remonter aux causes qui président à la précipitation des métaux.

Les rapports qui lient les affinités aux forces électriques sont si bien établis, qu'il est possible, en s'appuyant sur les données fournies par l'électro-chimie, de faire naître dans une foule de cas, au moyen des forces électriques, les affinités qui, sans elles, ne se seraient pas manifestées. Mais avant d'entrer en matière, j'indiquerai succinctement l'usage que faisaient les anciens des précipités métalliques.

Depuis un grand nombre de siècles on connaissait la dorure sur métaux ; les statuettes et bronzes trouvés dans les tombeaux d'Égypte en sont une preuve manifeste. Si, dans d'autres contrées moins favorisées par le climat, on rencontre très-peu de statues dorées, il faut l'attribuer à une altération plus ou moins rapide provenant du contact de l'or et du bronze. A une époque bien postérieure, dans le Bas-Empire, on frappait des monnaies de fer ou de cuivre recouvertes d'argent. Au rapport de Pline, on dorait le cuivre par l'intermédiaire du mercure ; le cuivre était étamé et argenté pour le préserver de toute alté-

ration, art dont ce célèbre naturaliste attribue la découverte aux Gaulois, qui en faisaient un tel usage, que les Bituriges argentaient leurs chariots, litières et autres objets d'un emploi journalier. Argenter le cuivre, on le conçoit, l'opération était simple; mais il n'en est pas de même du fer, qui exige une double opération. Vitruve signale la dorure de l'argent et du cuivre au moyen du mercure. Zozime, auteur profane du cinquième siècle, fait mention de la précipitation du cuivre sur le fer, opération dans laquelle le cuivre reparaît avec son aspect métallique. Mille ans après, Paracelse nous apprend que, pour décomposer une dissolution d'argent, il suffit de plonger dans la dissolution une lame de cuivre sur laquelle l'argent métallique se dépose. Bernard de Palissy, dans son *Traité des métaux et de l'alchimie*, nous apprend que l'on était parvenu à dorer et argenter le fer par immersion, en plongeant dans une dissolution très-limpide qu'il n'a pas fait connaître; une lame de fer prenait aussitôt l'aspect de l'or ou de l'argent, suivant la nature de la dissolution. Boyle enfin rapporte que, pour dorer le fer au moyen de l'amalgame d'or, on commence par plonger ce métal dans une dissolution chaude de sulfate de cuivre; le cuivre précipité sert à fixer l'or au moyen du mercure; enfin on argente le cuivre et le laiton au moyen du chlorure d'argent.

Bien d'autres documents, que je ne rapporte pas ici, prouvent donc que l'application métallique, pour préserver les métaux oxidables des influences atmosphériques ou leur donner l'aspect des métaux précieux, était pratiquée depuis bien des siècles, et qu'il est à croire même que le procédé à l'aide duquel on dorait immédiatement le fer ainsi que le cuivre a été perdu, puis retrouvé.

Sans entrer dans l'examen historique de tout ce qui a été fait relativement à l'application des métaux sur d'autres métaux depuis l'établissement de la chimie moderne, je me bornerai à dire que l'intervention de l'électricité dans cette application

constitue une nouvelle ère, à l'établissement de laquelle ont concouru plusieurs physiciens et industriels. Parmi les premiers, on doit distinguer Mr. de la Rive; parmi les seconds, Mr. Elkington, qui a découvert la propriété que possèdent les dissolutions d'aurate alcalin, de dorer, à la température de l'ébullition, les objets en cuivre parfaitement décapés qu'on y plonge; c'est lui aussi qui a trouvé que les mêmes dissolutions, et en général les dissolutions d'or alcalines, servaient à dorer électro-chimiquement avec l'appareil simple. Ce n'est que plus tard que M. de Ruolz fit usage de ces dissolutions et d'autres analogues, et donna de l'extension non-seulement à la dorure électro-chimique, mais encore à l'argenture, et à l'application de quelques métaux sur le cuivre, le fer, et même l'étain. Ce développement inattendu, donné aux applications de la pile, repose, comme on le voit, sur l'emploi *exclusif* des dissolutions alcalines. C'est donc dans ces dissolutions que réside le principe dominant de la dorure et de l'argenture qui préoccupent aujourd'hui l'industrie. On conçoit, jusqu'à un certain point, d'où peuvent provenir les propriétés des dissolutions alcalines. Quand Mr. Payen observa que le fer, plongé dans une dissolution de potasse caustique en certaine proportion, était préservé de toute altération, on crut d'abord que cet effet était dû à ce que la dissolution ne renfermait pas assez d'air pour que le métal fût oxidé. Mais ce chimiste ayant démontré que la dissolution préservatrice renfermait autant d'air qu'une autre dans laquelle le fer était promptement oxidé, on dut en conclure que l'alcali exerçait dans cette circonstance une influence due à son contact avec le fer,

En examinant les effets électriques produits dans le contact de la dissolution et du fer, on reconnut qu'il existait une action chimique excessivement lente, et d'une nature particulière, puisque les deux corps en présence ne prenaient chacun une charge d'électricité qu'autant que le circuit était resté ouvert pendant quelques instants.

La potasse exerçait donc là, par son contact avec le fer, une influence inconnue, qui empêchait le fer d'être oxidé aux dépens de l'oxigène de l'air contenu dans la dissolution.

En rapprochant ce fait de la propriété des dissolutions alcalines métalliques, servant, soit à la dorure électro-chimique, soit à la dorure par immersion, de cet autre fait que certaines dissolutions non alcalines ne peuvent servir, dans les mêmes circonstances, à opérer des dépôts adhérents d'or, d'argent ou de cuivre sur différents métaux qu'on y plonge, on est porté à croire que les dissolutions alcalines, réagissant moins vivement sur les métaux, permettent aux molécules de se grouper selon les lois de la cristallisation, ou, du moins, de manière à s'agréger entre elles.

Tel est le grand avantage que l'on retire des dissolutions alcalines; mais il faut avouer aussi qu'elles ne remplissent pas toujours le but que l'on se propose, comme celle de platine en est un exemple, puisqu'on n'a pu encore déposer sur le cuivre qu'une couche excessivement mince de ce métal, sans pouvoir y faire adhérer les dépôts subséquents. C'est pour ce motif que le platine n'est pas encore en usage dans l'industrie.

Telles sont les considérations que j'ai cru devoir présenter, avant d'exposer le résultat de mes recherches touchant la précipitation des métaux de dissolutions neutres par d'autres métaux, sans adhérence ou avec adhérence, en employant ou non le concours de l'action chimique de l'électricité.

De la précipitation de leurs dissolutions au moyen du zinc, de quelques-uns des métaux considérés jusqu'ici comme irréductibles.

Le principe à l'aide duquel on ramène immédiatement à l'état métallique certains métaux en dissolution, est connu depuis longtemps. Il suffit de plonger dans la dissolution un métal plus oxidable que celui qui est en combinaison. Il se substitue alors à sa place en proportions atomiques. C'est ainsi qu'on décom-

pose une dissolution de cuivre, d'or, d'argent, etc., avec le zinc, le fer, etc. Le dépôt formé sur la surface du métal précipitant est tantôt pulvérulent, tantôt plus ou moins adhérent, suivant la densité de la dissolution, la température et diverses circonstances parmi lesquelles on met en première ligne le contact avec le métal précipitant, d'où résulte un couple voltaïque dont l'action est souvent déterminante; on en a un exemple dans l'étamage des épingles de laiton, qui, plongées dans un bain convenable d'étain, ne se recouvrent d'une couche de ce dernier métal qu'autant qu'elles sont mises en contact avec un morceau d'étain.

Tous les effets de ce genre sont dus en partie aux affinités, en partie aux effets électro-chimiques qui en sont la conséquence. Ce concours de l'affinité et de l'électricité doit donc toujours être pris en considération dans les recherches relatives à la réduction immédiate des métaux.

Les faits nouveaux que j'ai l'honneur de faire connaître aujourd'hui à l'Académie, prouveront la justesse de mes observations à cet égard.

Je commencerai par donner, d'après notre confrère Mr. Thenard, le tableau de la réduction des dissolutions salines par les métaux. (*Voyez le tableau page* 526.)

Les précipités signalés dans ce tableau sont tantôt pulvérulents, tantôt formés de parties plus ou moins cohérentes, tantôt ils adhèrent sur le métal précipitant. Les causes qui produisent ces différents états moléculaires dépendent de diverses circonstances dont les unes sont connues et les autres seront indiquées plus loin. Les métaux obtenus jusqu'ici à l'état de poudre noire sont l'antimoine, l'arsenic, l'osmium, le palladium, le rhodium et l'iridium; les autres sont formés de parties plus ou moins agrégées, et possèdent la plupart du temps l'éclat métallique, entre autres le plomb, le mercure, le cuivre et l'argent. On verra comment ces métaux peuvent être obtenus en

SELS DONT LES DISSOLUTIONS SONT IRRÉDUCTIBLES PAR LES MÉTAUX.	SELS DONT LES DISSOLUTIONS SONT RÉDUCTIBLES PAR CERTAINS MÉTAUX (*).	
SELS DES DEUX PREMIÈRES SECTIONS.		
Sels de manganèse. — de zinc. — de fer. — de cobalt. — de nickel. — de chrome. — de titane. — d'urane. — de cérium.	Sels d'étain. — d'arsenic. — d'antimoine. — de bismuth. — de plomb. — de cuivre (**). — de tellure.	
	Azotates de mercure.	Réduits par le zinc, le fer et tous ceux qui précèdent. Réduits par le fer, le zinc et peut-être le manganèse.
	Sels d'argent (***). — de palladium. — de rhodium. — de platine. — d'or. — d'osmium. — d'iridium.	Réduits par le fer, le zinc, le manganèse, le cobalt et tous ceux qui précèdent l'argent.

(*) Pour que la réduction se fasse bien, il faut que le sel nouveau soit soluble.
(**) L'acétate de cuivre est réduit par le plomb.
(***) L'azotate d'argent est réduit par le cobalt.

couches très-minces, avec l'aspect métallique, par simple immersion dans un bain métallique.

Si l'on jette les yeux sur le tableau ci-dessus, on voit dans la première colonne que les sels de manganèse, de zinc, de fer, de cobalt, de nickel, de chrome, de titane, d'urane et de cérium, sont regardés comme irréductibles par les métaux. Pourquoi a-t-on tiré cette conséquence? C'est qu'on a opéré, surtout à l'égard du cobalt, du nickel et du fer, dans des circonstances où la réaction du métal le plus oxidable sur les sels pré-

cédemment cités, était trop faible pour que la réduction s'effectuât. Il serait, en effet, arrivé tout le contraire si l'on eût augmenté l'énergie de cette réaction à l'aide de la chaleur. Les faits suivants en fourniront la preuve, en même temps qu'ils donneront à la chimie de nouveaux moyens d'analyse, et peut-être à la métallurgie et à l'industrie des procédés qui pourront leur être de quelque utilité.

Pour montrer comment j'ai été conduit à la réduction en question, j'indiquerai la relation existant entre les forces électriques à l'aide desquelles on parvient à décomposer la plupart des sels précédemment cités, et les affinités en vertu desquelles on opère la même décomposition.

J'ai démontré, il y a plusieurs années, comment avec l'appareil électro-chimique simple, dans lequel l'électricité était fournie, soit par l'oxidation seule du zinc, soit par la réaction l'une sur l'autre de deux dissolutions différentes, séparées par un diaphragme, on parvenait à décomposer tous les sels, de manière à obtenir les métaux à l'état métallique, en cristaux, en lamelles ou en poussière. On pourrait donc, avec l'oxidation seule du zinc, dégager assez d'électricité pour que celle-ci, transformée en courant, eût une énergie suffisante pour opérer la décomposition des sels métalliques et la réduction des oxides. Or, les moindres corps étrangers, métalliques ou non, pourvu qu'ils soient conducteurs, adhérant à la surface du zinc, opèrent cette transformation. Il en est de même quand le zinc n'est pas pur. En effet, il a été démontré qu'un morceau de zinc du commerce qui renferme diverses substances, est plus attaqué par les acides qu'un autre qui est chimiquement pur. Dans le premier cas, on reconnaît, à l'aide du multiplicateur, et de deux pointes de platine en relation avec cet appareil, que l'on promène sur la surface du zinc plongé dans de l'eau acidulée, que cette surface est parcourue dans tous les sens par une multitude de courants électriques, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant qu'il se trouve à la surface du zinc des corps étrangers,

alliages ou autres conducteurs de l'électricité. Tel est le principe simple qui m'a servi de point de départ dans les recherches dont j'expose aujourd'hui les résultats. Le zinc devra donc être naturellement le corps précipitant, puisque c'est le métal producteur d'électricité par excellence.

Que se passe-t-il quand on plonge un morceau de zinc bien décapé dans une dissolution d'un sel métallique à la température ordinaire? Ce métal, qu'il décompose ou non le sel, réagit avant tout sur l'eau, et s'oxide aux dépens de son oxigène, et l'hydrogène devient libre. Il en résulte un dégagement d'électricité par suite duquel le métal prend l'électricité négative et le liquide l'électricité positive ; mais, à l'aide des particules d'alliage ou autres corps étrangers conducteurs, ces deux électricités constituent un courant dont l'action rend le métal plus oxidable, ou du moins les parties non recouvertes de corps étrangers, d'où résulte une nouvelle énergie dans l'oxidation, tandis que l'hydrogène vient en aide à la réduction des oxides métalliques qui se trouvent dans la dissolution ; mais si à cette action électro-chimique, ou plutôt à cette multitude d'actions électro-chimiques, dont on démontre l'existence à l'aide des aiguilles en platine, on ajoute les affinités de l'oxigène et de l'acide ou des corps se comportant comme tels, plus fortes pour le zinc que pour le métal dissous, et, en outre, l'action de la chaleur qu'on a négligée jusqu'ici, on a alors réuni toutes les conditions les plus favorables pour obtenir des dépôts métalliques. Avec un accroissement de chaleur, l'oxidation est plus forte, parce que le liquide devient meilleur conducteur de l'électricité, et que le courant ayant plus d'intensité, son action décomposante se trouve augmentée. Il ne faut donc jamais perdre de vue que la précipitation des métaux, au moyen d'un métal plus oxidable plongé dans leur dissolution, est un phénomène en partie chimique et en partie électro-chimique. J'ajouterai encore que, lors même qu'il n'y aurait pas de corps étrangers, alliages ou autres, adhérant à la surface du métal

précipitant, celui-ci en contact avec l'eau, l'acide, du sel, l'oxide métallique, c'est-à-dire l'oxigène et le métal, on trouverait là réunies toutes les conditions qui peuvent constituer des effets de contact.

Telles sont les considérations qui m'ont conduit à la réduction, au moyen du zinc, de plusieurs des dissolutions regardées jusqu'ici comme irréductibles, ainsi qu'à la précipitation avec adhérence de presque tous les métaux non alcalins sur d'autres métaux.

Mr. Capitaine (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. II, p. 126) avait déjà montré que si l'on plongeait un morceau de zinc dans une dissolution aussi neutre que possible de proto-chlorure de fer, le zinc, au bout de peu de temps, était devenu magnétique, et qu'en prolongeant suffisamment l'opération à la température ordinaire, il se recouvrait d'une masse mamelonnée de fer qui, en se précipitant, entraînait du zinc; il vit en même temps qu'il se dégageait des bulles d'hydrogène. Pour obtenir du fer exempt de zinc, il souda une lame de zinc à une lame de cuivre bien décapée; cette dernière se recouvrit d'une couche de fer qui se détacha aisément en plongeant la lame. Le fer avait une couleur blanc-bleuâtre, jouissant de l'éclat métallique, particulièrement sur la surface adhérente au cuivre. Cette expérience revient à celle qui m'a servi à réduire le fer et à l'obtenir dans le même état, c'est-à-dire à l'état de cristaux de tubercules, ou de lames. La différence dans les deux méthodes consiste en ce que, dans la mienne, le couple cuivre et zinc est séparé par ses deux extrémités libres au moyen d'un diaphragme perméable en argile, ou autre substance, séparant la dissolution de fer de la dissolution d'eau salée dans laquelle plonge le zinc. Cette disposition est plus avantageuse que celle de Mr. Capitaine, par la raison que l'on n'a pas à craindre que le fer, en se déposant sur le cuivre, ne s'allie au zinc qui se dissout en même temps que le sel de fer est décomposé. Cette disposition permet donc d'obtenir du fer parfaitement pur.

Quoi qu'il en soit, l'expérience de Mr. Capitaine a prouvé qu'avec une lame de zinc plongée dans une dissolution de protochlorure de fer à la température ordinaire, on parvenait avec le temps à décomposer ce sel, et à obtenir le fer à l'état métallique. Mais une dissolution quelconque de fer, comme on le verra, dans laquelle le métal est à l'état de protoxide, éprouve les mêmes effets de la part du zinc, pourvu que l'on opère à une température convenable.

Dans mes expériences sur le traitement électro-chimique des métaux, j'avais reconnu qu'en portant la température de la solution d'eau salée à son maximum de concentration, à la température de 50 à 80 degrés, le courant électrique acquérait une intensité qui permettait de vaincre des affinités qui n'avaient pu l'être à la température ordinaire. Cet accroissement dans l'action électro-chimique pouvait être attribué à deux causes : la première, à une réaction chimique plus forte de la solution sur le zinc ; la seconde, à une meilleure conductibilité de la solution, car on sait que les liquides, à l'opposé des solides, deviennent meilleurs conducteurs à mesure qu'on les chauffe, probablement parce que la chaleur, en diminuant la force d'agrégation de leurs molécules, permet au courant d'agir plus efficacement. Dans les expériences suivantes, j'ai pris en considération cette influence de la chaleur pour arriver à la décomposition immédiate de quelques sels métalliques qui n'avaient pu être décomposés avec réduction de l'oxide, ou séparation immédiate du chlore du métal.

Appliquons ceci aux chlorures de cobalt ou de nickel, les résultats étant les mêmes que pour d'autres sels de ces métaux.

On prend quelques grammes de chlorure de cobalt que l'on dissout dans l'eau, et on porte la température à celle de l'ébullition ; on projette dedans du zinc très-pur en excès, en poussière, provenant de la pulvérisation du métal chauffé à une température convenable, ou bien du zinc obtenu par la décomposition électro-chimique d'un sel de ce métal ; il y a aus-

sitôt une assez vive effervescence ; par suite de la réaction du zinc sur l'eau et le chlorure, il se dégage de l'hydrogène ; la couleur du zinc ne tarde pas à changer : de grise qu'elle était, elle devient noire. Quelques minutes après, on retire du feu la dissolution qui est devenue parfaitement incolore, on lave et l'on sèche; on rassemble au fond de la capsule la limaille ou la poussière métallique à laquelle on présente l'extrémité d'un barreau aimanté; aussitôt elle est attirée et s'y attache. Le chlorure a donc été décomposé, et le cobalt amené à l'état métallique. Si le zinc est en limaille, les parcelles sont recouvertes de cobalt, et agissent individuellement sur l'aiguille aimantée. Quand la poussière est très-fine, les parties sont également recouvertes de cobalt. Pour enlever le zinc, on traite par l'acide acétique étendu de deux ou trois fois son volume d'eau, à la température ordinaire; car avec l'acide sulfurique étendu, le cobalt, en raison de son grand état de division, est attaqué, comme on le voit, par la coloration en rouge de la dissolution. Le cobalt se trouve alors en poudre noire très-divisée, prenant difficilement l'éclat métallique, surtout si le zinc n'est pas pur. Dans une expérience où j'ai opéré avec quatre grammes bien secs de chlorure de cobalt, j'ai obtenu 1^{gr},26 de cobalt en poudre. La théorie indiquait 1,36. Il faut dire aussi que je n'ai pas pris dans les lavages toutes les précautions pour éviter la perte du cobalt tenu en suspension dans le liquide, puis l'acide acétique en avait dissous une petite quantité qui n'a pas été soumise à un nouveau traitement. Même résultat avec le sulfate et probablement avec l'acétate de cobalt. Si au lieu d'opérer avec de la poussière de zinc, on prend un cylindre de ce métal, on trouve que l'arête circulaire de la base est recouverte de petits tubercules de cobalt, que l'on peut enlever avec un instrument tranchant ; la surface même se cobaltise.

Les sels de nickel, traités de la même manière, m'ont conduit à des résultats semblables. Le nickel a été obtenu dans le même temps à l'état métallique en poudre impalpable, attirable

à l'aimant, et possédant toutes les propriétés du nickel. J'ai voulu voir jusqu'à quel point le procédé employé pourrait servir à isoler le cobalt ou le nickel du fer ou de quelques autres métaux avec lesquels il est combiné. J'ai pris 3 grammes d'oxide de cobalt impur, retiré de la mine de manganèse cobaltifère de Nontron, et qui renfermait de petites quantités d'oxide de manganèse et de fer; après avoir dissous cet oxide dans l'acide chlorhydrique, et avoir fait évaporer l'excès d'acide, j'ai traité par le zinc, comme il vient d'être dit. Le cobalt et le fer ont été réduits à l'état métallique, puis j'ai traité par l'acide acétique étendu qui a dissous le fer et l'oxide de manganèse, de manière que le cobalt obtenu était sensiblement pur, si ce n'est qu'il se trouvait mélangé avec une très-petite quantité de cuivre. Dans une autre expérience où le cobalt renfermait de l'arsenic, la poussière métallique a été mise dans l'ampoule d'un appareil à réduction au moyen du gaz hydrogène; on a fait chauffer l'ampoule en y faisant passer de l'hydrogène pour éviter l'oxidation du cobalt, et l'arsenic s'est alors volatilisé; on l'a recueilli sur les parois du tube, de sorte que le cobalt était parfaitement pur. L'analyse chimique pourra tirer parti du procédé de réduction que je viens d'indiquer pour obtenir promptement le cobalt et le nickel à l'état métallique, en les séparant de plusieurs des métaux avec lesquels ils sont combinés dans la nature.

J'ajouterai encore quelque chose à ce procédé qui permet de retirer le zinc quand on n'a à sa disposition que des limailles. Lorsque celles-ci sont recouvertes de cobalt ou de nickel, l'action réductive du zinc devient alors très-faible. Dans ce cas on décante, on met le zinc dans un mortier d'agate, et l'on broie afin de nettoyer les surfaces; on enlève, par des lavages, la poussière métallique, et l'on commence à traiter la dissolution cobaltique en nettoyant de la même manière les surfaces. De cette façon, on obtient, après avoir laissé reposer les eaux de lavage, de la poudre de cobalt ou de nickel, qui ne renferme

..e peu de zinc, que l'on enlève au moyen de l'acide acétique ..ndu. Quand on opère avec un cylindre de zinc, ce qui pré..nte quelquefois de l'avantage, on brosse de temps à autre la ..rface immergée pour enlever toute la matière pulvérulente ..posée. Quand l'opération est terminée, on gratte fortement .. surface du zinc pour enlever toutes les parties pulvérulentes .. cobalt que la brosse n'aurait pu détacher. Il faut, pour le ..ccès de l'expérience, que le zinc soit aussi pur que possible, ..rtout privé d'arsenic et de cuivre ; s'il renfermait du fer, il y ..urait peu d'inconvénients.

Quand on opère vers 80 degrés, et même un peu au-des..ous, l'action est alors moins tumultueuse. L'état de division du ..obalt n'est plus aussi grand ; ainsi peut-on obtenir de petits ..ubercules qui prennent sous le brunissoir l'éclat métallique.

Il y a un moyen tout simple de faire réagir le zinc en pous..ière très-fine sur une dissolution métallique, en y faisant con..ourir puissamment l'électricité dégagée dans la réaction. Il ..uffit, pour cela, d'opérer dans un vase de platine ; dans ce cas, ..e zinc, le platine et la dissolution constituent un couple vol..aïque. Le platine étant le pôle négatif, se trouve dans l'état le ..plus favorable pour ne pas être attaqué par les chlorures. Il ne ..le serait que dans le cas où l'on emploierait des sels acides ou des dissolutions dans la potasse. Hors ce cas, on n'a pas à craindre l'altération du platine. La seule difficulté serait que le métal déposé adhérât au platine.

CHAPITRE SECOND. — *Du dépôt avec adhérence des métaux sur d'autres métaux.*

Dans le chapitre précédent, je me suis attaché à décomposer immédiatement les sels de fer, de cobalt et de nickel au moyen du zinc, à une température voisine de l'ébullition ; je vais montrer maintenant comment on peut faire adhérer sur différents métaux, non-seulement les précédents, fer, nickel et cobalt,

mais encore tous les autres non alcalins, à l'exception de trois ou quatre, en les plongeant à une température convenable dans une dissolution métallique aussi neutre que possible. La dorure électro-chimique, ou celle par immersion du cuivre, s'opère, comme je l'ai déjà dit, avec des dissolutions alcalines, ou du moins en possédant la réaction, la première à la température ordinaire, la deuxième à celle de l'ébullition. La dorure sur d'autres métaux, outre quelques dispositions préparatoires, ainsi que l'argenture, le cobaltisage, le nickelisage, exige également l'emploi d'une dissolution de double cyanure ou d'autres dissolutions alcalines. Dès lors, le caractère alcalin des dissolutions employées dans les procédés nouveaux, est donc bien défini. Le but que je me propose est de démontrer que l'on peut obtenir les mêmes effets, sauf l'épaisseur que la pile seule peut donner, par des immersions dans des dissolutions neutres, à la température de 60 à 100 degrés, suivant les métaux, en s'aidant quelquefois du contact du zinc avec les métaux précipités. L'adhérence est d'autant plus grande que le décapage est plus brillant, car on n'obtient jamais autant de solidité avec le mat; avec le décapage poli, la pièce sort du bain ayant un aspect très-brillant. Cette adhérence est telle, que plusieurs dépôts métalliques supportent non-seulement le poli à la peau et au rouge d'Angleterre, mais encore celui du brunissoir d'acier. Le dépôt métallique, du reste, est analogue à celui d'or dans la dorure par immersion, c'est-à-dire que la couche de métal est excessivement mince, ce qui ne saurait être autrement, attendu que l'action réductive du métal précipitant cesse aussitôt que sa surface est recouverte par le métal précipité.

Pour mettre de l'ordre dans l'exposé des résultats que je vais présenter, je parlerai de chaque métal en particulier, du moins de ceux qui donnent les effets les mieux caractérisés, en commençant par les métaux électro-négatifs.

Des dépôts métalliques avec adhérence, opérés par immersion sans l'aide du contact métallique.

Du dépôt de platine ou platiné.

Composition de la liqueur. — On prend une dissolution de chlorure de platine aussi neutre que possible, on verse dedans une solution concentrée de potasse pour opérer sa décomposition. On lave le précipité, d'abord avec un mélange d'alcool et d'eau, puis avec de l'alcool ordinaire, pour enlever l'excédant d'alcali sans dissoudre de double chlorure, ou du moins du mélange de double chlorure et de platinate de potasse. On a alors celui-ci parfaitement neutre, puisque sa solution dans l'eau distillée ne change pas la couleur du papier de tournesol rougi par un acide. Cette solution, étendue de deux ou trois fois son volume d'eau, sert à obtenir le platiné, en opérant de la manière suivante. On élève sa température de 60 à 70 degrés au plus, et on plonge dedans les objets parfaitement décapés. Ces objets deviennent d'abord ternes, s'éclaircissent peu à peu, deviennent brillants, et le platiné est alors effectué. Une minute au plus suffit pour cette opération. On retire la pièce et on sèche à la sciure. Le platine déposé a un aspect blanc argentin brillant, pourvu que le décapage ait été convenable. Si l'immersion se prolongeait, la réaction de la dissolution continuerait, lentement à la vérité, à travers les interstices moléculaires. La couche de platine déposée primitivement se détacherait çà et là. Si l'on opérait à 100 degrés, la réaction serait trop énergique, les molécules ne s'agrégeraient pas, ou du moins s'agrégeraient imparfaitement. Au-dessous de 60 degrés, le dépôt deviendrait de moins en moins cohérent, et finirait par devenir pulvérulent. Il faut bien se garder, pendant l'opération, de toucher la pièce avec un morceau de zinc, car elle deviendrait noire immédiatement. Il est indispensable d'opérer avec une dissolution parfaitement neutre, car, pour peu qu'elle

manifeste la réaction alcaline, tous les effets décrits ne se produisent plus. Un léger excès d'acide, au contraire, ne paraît pas nuire sensiblement au succès de l'opération; il est indispensable de sécher à la sciure les pièces après décapage. En voici, je crois, la raison. Le cuivre, après avoir été décapé par les acides, se recouvre, malgré les lavages, d'une couche d'oxide excessivement mince. En séchant à la sciure, le frottement enlève cette légère couche d'oxide, et la solution de platine exerce l'action la plus efficace sur le cuivre. Il faut éviter aussi la présence du protoxide de cuivre, qu'on enlève avec l'acide acétique.

Désirant déterminer la quantité de platine déposée par décimètre carré, j'ai fait les deux expériences suivantes :

Première expérience.— On a pris une lame de laiton carrée de 45 millim. de côté ; après l'avoir platinée, on l'a mise dans une capsule avec de l'acide nitrique étendu pour dissoudre le cuivre. On a obtenu ainsi une pellicule excessivement mince de platine, qui rassemblée, séchée et pesée, a donné $0^{gr},0035$, ce qui équivaut à $0^{gr},0086$ par décimètre carré.

Seconde expérience. —Une lame de cuivre rouge, de 50 millim. de longueur, sur 23 de largeur, pesée, platinée, puis pesée de nouveau, a donné une différence de poids égale à $0^{gr},002$. Le platine s'étant substitué au cuivre en proportion atomique, on a, en représentant par p et p', les poids du cuivre perdu et du platine déposé

$$p' - p = 2,$$

$$p' : p :: 98,84 : 31,71,$$

98,84 et 31,71, étant les poids atomiques du platine et du cuivre. On tire de ces deux équations

$$p' = 3.$$

Or, d'après les essais de Mr. d'Arcet pour déterminer le titre de l'or dans la dorure par immersion, on a

	Au mercure.	Au trempé.
Dorure maximum. . .	0,0353	0,421
Dorure minimum . . .	0,0274	»

On voit par là que, dans la première expérience, la quantité de platine déposée par décimètre carré est à la quantité d'or déposée dans la dorure au minimum comme 86 : 274, c'est-à-dire qu'il y avait trois fois moins de platine que d'or déposé, et cependant le platine se trouvait en couche uniforme et continue ; et que dans la deuxième, ce rapport est comme 123 : 274, c'est-à-dire qu'il y avait un peu moins de moitié de platine que d'or déposé. Je ferai remarquer que, dans cette expérience, la lame avait été séchée à la sciure.

On peut augmenter encore l'épaisseur du dépôt, mais on court le risque de diminuer l'adhérence. Je fais observer, en outre, que celle-ci varie, ainsi que l'épaisseur de la couche, avec la nature du laiton. C'est à l'industrie à rechercher les laitons qui se prêtent le mieux au platiné.

Le platiné à la pile, tel que le pratique Mr. de Ruolz avec une dissolution alcaline de platine, ne présente pas encore la qualité requise, l'épaisseur ; la première couche, la couche déposée en premier lieu, est terne, elle adhère ; mais les dépôts subséquents sont pulvérulents, parce que l'action électro-chimique employée ne réunit pas les conditions voulues pour que les molécules de platine s'agrégent avec celles déjà déposées. Or, comme la dissolution de platine, en raison de sa nature, est très-étendue, il faudrait employer un courant d'une très-faible intensité pour déterminer l'agrégation des molécules, car j'ai démontré anciennement que plus une dissolution métallique est étendue, moins le courant doit avoir d'intensité, pour que les molécules métalliques se déposent sur l'électrode négatif avec adhérence, ou de manière à cristalliser.

Quand on expose à l'air le cuivre platiné sortant du bain sans le sécher, et par conséquent encore humecté de la disso-

lution de platine, celui-ci s'altère rapidement, et les lames platinées se recouvrent des couleurs bleues et violettes les plus brillantes.

J'ai fait quelques essais dans le but de savoir jusqu'à quel point le cuivre platiné s'altérait dans de l'eau renfermant du chlorure de sodium dans des proportions voulues pour former de l'eau de mer, qui, comme on le sait, altère rapidement le cuivre. Au bout de peu de temps, le cuivre platiné s'est recouvert d'un très-léger nuage d'oxichlorure de cuivre, annonçant une faible réaction de l'eau salée sur le cuivre, à travers les interstices du platine. Au bout de trois ou quatre jours, les pièces ont été retirées et présentaient encore l'éclat du platine.

Le maillechort se platine parfaitement bien, et prend même un assez beau brillant. Le fer ne se recouvre pas de platine sans une préparation préalable. J'ai employé avec avantage le platiné sur les médailles et bas-reliefs en cuivre rouge obtenus par la galvano-plastie, pour leur donner, en déposant sur leur surface des couches de peroxide de plomb de divers degrés d'épaisseur, toutes les couleurs de bronze désirables, et produire même des effets de couleur piquants, qu'il serait bien difficile d'obtenir par tout autre procédé. Ce genre de bronzé a l'avantage sur toute autre espèce de peinture, qu'elle ne dépose qu'une couche d'oxide excessivement mince, qui ne saurait altérer en rien la finesse des traits des figures.

L'Académie pourra apprécier la valeur de mes assertions en jetant les yeux sur les diverses pièces, produits de la galvano-plastie, que j'ai l'honneur de lui présenter.

Je ferai observer enfin que, puisque le platiné de cuivre se revêt quand il est humecté à l'air, des belles couleurs bleues que l'on obtient dans les premiers instants, quand on les soumet à l'action d'une dissolution de plomb au moyen de la potasse et de la pile, je ferai observer, dis-je, que les belles couleurs qui arrivent après sous l'influence de la pile, sont dues probablement, comme je l'ai déjà avancé, à la réaction d'un

protoxide de platine, d'une part, sur l'oxide de plomb, de l'autre, sur l'oxide de cuivre.

Application de palladium.

Ce que je viens de dire du platine déposé sur différents métaux, s'applique en tout point au palladium, c'est-à-dire que pour recouvrir le cuivre de ce dernier métal, l'on forme un double chlorure neutre de palladium et de potassium, renfermant une proportion atomique de chaque chlorure, et on opère en se conformant aux mêmes indications.

La pièce recouverte de palladium se montre avec l'aspect du platine, peut-être un peu plus blanc, avec un brillant comparable, jusqu'à un certain point, à celui de l'argent. La quantité de palladium déposée est sensiblement la même que celle de platine dans les expériences précédentes. Comme ce métal a très-peu d'affinité pour l'oxigène, qu'il est susceptible de prendre un assez grand éclat, et que le dépôt a très-peu d'épaisseur, il pourrait être employé dans certaines circonstances, bien que son prix fût élevé. Les objets que je mets sous les yeux de l'Académie pourront donner une idée de la beauté du cuivre recouvert de palladium.

Dépôt d'iridium.

Même mode d'opération que pour le précédent. Le dépôt d'iridium paraît semblable à celui du platine, sous le rapport de la quantité de métal déposée, de la couleur et de l'éclat; cependant le peu de pièces préparées m'ont paru avoir un aspect brillant tirant sur l'acier.

Dépôt de rhodium.

Le rhodium déposé sur le cuivre rouge ou le laiton, en se conformant entièrement aux prescriptions indiquées, se com-

porte absolument comme le platine et les autres métaux qui l'accompagnent ; les résultats sont absolument les mêmes. Quant à l'osmium, n'ayant pu me procurer un chlorure de ce métal, je n'ai pu en former des dépôts sur le cuivre ; mais l'analogie porte à croire qu'il se serait déposé comme les autres métaux.

Du dépôt d'or ou dorure.

Jusqu'ici le mode d'expérimentation décrit précédemment, n'a pu produire des effets aussi nets, à beaucoup près, que ceux obtenus avec le platine et les métaux qui l'accompagnent.

Du dépôt d'argent ou de l'argenté.

L'argent se prête très-facilement au dépôt avec adhérence sur cuivre et d'autres métaux, en suivant la méthode générale. On sait que le chlorure d'argent est soluble dans une dissolution saturée de sel marin, mais en très-faible proportion, puisque la quantité d'argent unie au chlore ne représente que les $^{17}/_{10000}$ du poids du sel marin employé à la température de 10 degrés. Mais le pouvoir dissolvant augmente avec la température; car, aux environs de celles de l'ébullition, il est quatre fois plus considérable : on sait encore que, lorsque l'on met une lame de fer, de zinc ou de cuivre dans de l'eau saturée de chlorure d'argent, à la température ordinaire, le chlorure d'argent est décomposé, et l'argent se dépose en parties plus ou moins ténues et sans cohérence sur le métal. Les résultats que j'avais obtenus sur le platine et autres métaux me firent penser qu'à l'aide d'une température suffisante, et avec une solution saturée de chlorure d'argent et de sel marin, on parviendrait à faire adhérer l'argent sur le cuivre. Effectivement, à la température de 70 degrés environ, on obtient un argenté mat qui prend sous le brunissoir l'éclat métallique. En opérant à la température de l'ébullition, l'argenté tire sur le noir; il est donc nécessaire de

se renfermer entre certaines limites de température, qui doivent varier suivant la nature des alliages de cuivre, si l'on veut obtenir un argenté réunissant les conditions voulues. Le titre du depôt d'argent a été déterminé de la manière suivante : on a pris une lame de cuivre rouge de 50 millimètres de long sur 23 de large ; cette lame, ayant été pesée avant et après l'immersion dans le bain, a présenté un excédant de poids égal à 0^{gr}, 003. Or, comme l'argent s'est substitué au cuivre en proportion atomique, on trouve, au moyen d'un calcul précédemment indiqué en parlant du platine, que l'argenté par immersion contient 0^{gr},0164 par décimètre carré. Le procédé que je viens de décrire, et qui est le résultat et l'application d'un principe général, a des rapports éloignés avec celui qui est employé dans quelques industries, et dont Mr. Dumas a donné une bonne description dans les *Annales de l'Industrie française et étrangère*, t. I, p. 311. Nous mettons ici ce procédé en regard de celui qui a été exposé précédemment : « Supposons que l'on ait dissous, dit l'auteur, 1 once d'argent dans l'acide nitrique, et que l'on ait précipité la dissolution au moyen de l'acide chlorhydrique ou du sel marin, on lavera le chlorure d'argent et on le mêlera, encore humide, avec 4 livres de sel marin, 2 onces sel ammoniac, $^1/_2$ de sel de verre, 2 onces de nitrate de potasse, 1 $^1/_2$ gros oxide blanc d'arsenic et $^1/_4$ de livre de sulfate de fer ; le mélange étant fait, on décape les pièces au moyen de l'acide nitrique ; celui-ci doit être assez concentré : la pièce ne doit y séjourner que quelques instants, et dès qu'elle a pris une teinte dorée très-vive, on la retire et on la lave à grande eau. La pièce étant décapée, on met dans de l'eau bouillante une petite quantité du mélange précédent, tout se dissout; et alors si l'on plonge la pièce, elle se recouvre subitement d'une couche d'argent très-brillante, et sans tache ni aspérités cristallines. La partie la plus remarquable de ce procédé se trouve dans l'emploi du chlorure d'argent ; le sel ammoniac et le sel de verre, qui consistent presque entièrement

en chlorure alcalin, ont pour objet de rendre le chlorure d'argent soluble dans l'eau, par sa transformation en chlorure double, qui est soluble. Si le chlorure d'argent n'était pas dissous, l'argent se déposerait sur le laiton sous forme d'une poudre grise, noirâtre même et toujours très-terne. Si l'on substituait au chlorure un sel soluble par lui-même, tel que le nitrate, le résultat serait encore plus mauvais. Il est probable que la quantité des chlorures alcalins est trop forte; mais cette circonstance est de peu d'intérêt. »

Il paraît, d'après l'opinion de Mr. Dumas, que le sulfate de fer, en réagissant sur le nitrate de potasse et le sel marin, met en liberté une petite quantité d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique, que produit un peu d'eau régale, destinée à ramener à l'état de chlorure blanc la portion de sous-chlorure violet, qui ne tarderait pas à se produire dans le mélange par l'action de la lumière. L'oxide d'arsenic étant réduit en même temps que le chlorure d'argent, il se dépose donc sur le laiton un sous-arséniure d'argent. Si l'on ajoutait trop d'oxide d'arsenic, l'argent prendrait un ton plombeux. La crème de tartre n'a pour but que de décaper le laiton.

En comparant cette méthode à celle que j'ai décrite, on trouve des différences fondamentales; j'opère avec une dissolution saturée de chlorure d'argent et de sel marin, à une température à peu près fixe, tandis que, dans le procédé indiqué dans les *Annales de l'Industrie*, on se sert d'une dissolution, dans l'eau bouillante, d'une petite quantité d'un mélange de double chlorure d'argent et de soude, et de différents autres sels. Seulement, dans l'un et l'autre, il faut l'emploi de la chaleur; ensuite ma dissolution est neutre, l'autre est alcaline.

Dépôts de cuivre.

Ce métal n'offre aucune difficulté pour être précipité avec adhérence sur divers métaux, en employant la dissolution de

double chlorure en proportion définie. On savait, du reste, que pour cuivrer le fer, il suffit de plonger une lame de ce métal bien décapée pendant quelques instants dans une dissolution concentrée de sulfate de cuivre, ou bien de prolonger l'immersion dans une dissolution étendue. Pour obtenir le dépôt de cuivre sur des métaux peu oxidables, il faut toucher la pièce immergée dans la dissolution de double chlorure à une température convenable avec un morceau de zinc plongeant également dans la dissolution.

Des dépôts métalliques avec adhérence opérés par le coulant du zinc.

Dépôts d'antimoine.

Le cuivre se recouvre avec la plus grande facilité d'antimoine en opérant avec la solution de double chlorure, à la température de 70 à 80 degrés. Le métal déposé a un aspect gris-violacé.

Dépôts de bismuth.

Le bismuth se dépose avec assez de facilité sur les lames de cuivre, avec le contact du zinc toutefois. Le dépôt se présente avec un aspect blanc légèrement jaunâtre; il est mat et ne prend le poli que sous l'action de la brosse et du rouge d'Angleterre.

Dépôts d'étain ou étamage.

Le cuivre et le fer s'étament facilement dans le double chlorure de sodium et d'étain étendu à la température de 70 degrés. On obtient immédiatement le brillant et le mat; mais le contact du zinc est inévitable.

Une fois la couche d'étain déposée sur le cuivre, si l'on maintient le contact du zinc, il se dépose bien de l'étain, mais qui n'adhère plus; ainsi les molécules subséquentes qui arri-

vent ne sont plus dans les conditions voulues pour s'agréger avec celles déjà déposées. L'étamage ainsi obtenu est satisfaisant, et peut être employé dans plusieurs industries.

Dépôts de plomb ou plombage.

Le plombage du fer peut être obtenu directement en plongeant une lame de ce métal nouvellement décapée dans une solution d'acétate de plomb; mais si l'on veut opérer le dépôt sur le cuivre avec la solution de double chlorure, il faut employer le contact du zinc, attendu que le cuivre ne jouit pas de la propriété de décomposer les sels de plomb. Bien que ce métal se dépose sur le cuivre, qui n'a aucune action sur la dissolution de double chlorure, néanmoins il n'est pas possible d'en recouvrir les métaux électro-négatifs à l'aide du contact du zinc. Cette particularité assez remarquable sera le sujet d'une discussion à la fin de ce Mémoire. Le plomb déposé n'a pas la couleur grisâtre que nous lui connaissons ; quand il est en masse et que sa surface est avivée, il est blanchâtre.

Dépôts de nickel et de cobalt, ou nickelisage et cobaltisage.

Les expériences rapportées au commencement de ce Mémoire montrent que ces deux métaux doivent se déposer avec facilité sur le cuivre et même sur le fer, en raison de leur tendance à adhérer au zinc dans la décomposition de leurs sels à l'aide de la chaleur. La simple immersion de cuivre dans le double chlorure soit de cobalt, soit de nickel, suffit bien pour ramener ces deux métaux à l'état métallique ; mais la couche de métal déposé a peu d'adhérence. En touchant avec un morceau de zinc effilé, le métal déposé devient brillant et très-adhérent ; la couche y adhère assez fortement pour supporter le bruni, soit au rouge d'Angleterre et à la peau, soit au brunissoir.

L'éclat est à peu près celui de l'argent. Il est difficile de distinguer à la couleur le nickel du cobalt. Les pièces recouvertes ne réagissent pas sur l'aiguille aimantée, même sur celle soustraite à l'action du magnétisme terrestre. Cet effet négatif ne peut provenir que de deux causes : ou le métal déposé est réparti en couche trop mince pour réagir sur l'aiguille aimantée, ou bien l'adhérence sur le cuivre constitue un alliage dans lequel les propriétés physiques du métal déposé sont modifiées. Une preuve que la couche est dans un état particulier, c'est que, bien que ses parties aient adhéré les unes aux autres par suite de leur action sur le cuivre, néanmoins les molécules qui arrivent, en employant le simple contact du zinc, ne peuvent plus s'agréger. L'action exercée par le cuivre modifierait donc les propriétés physiques du métal déposé. Le zinc ne doit toucher qu'en quelques points, car si la surface de contact a une certaine étendue, la pièce devient noire, surtout dans les environs du point de contact. C'est un motif pour éviter le contact immédiat du zinc ; on y parvient en faisant communiquer celui-ci avec le cuivre par l'intermédiaire d'un fil de cuivre.

Si l'on veut employer directement le contact, il faut toucher le revers de la surface que l'on veut recouvrir. J'ai dit que la couche métallique ne réagissait pas sur l'aiguille aimantée; mais on peut donner à la couche de métal déposée une épaisseur suffisante pour que la réaction soit bien manifeste. J'en parlerai quand je montrerai jusqu'à quel point il est possible de se servir des dissolutions de double chlorure chauffées de 60 à 80 degrés pour augmenter l'épaisseur des dépôts.

Je ferai remarquer encore que, pour le nickel comme pour le cobalt, les effets de dépôt varient avec la nature du laiton; qu'il y en a qui donnent les effets les plus satisfaisants, tandis qu'il y en a d'autres qui résistent fortement au dépôt; ce sont ceux qui renferment une plus grande proportion de zinc. Quant au cuivre rouge, il est toujours employé avec avantage. Quand le cuivre ne se recouvre pas également, ce qui est dû

à l'imperfection du décapage, il faut toucher toutes ces parties avec une pointe de zinc ou un morceau de zinc effilé ; on obtient, par ce moyen, un dépôt uniforme. Pour le cobalt et pour le nickel, il faut opérer dans les conditions d'une température voisine de l'ébullition.

Dépôts de fer.

D'après ce que je viens de dire des métaux oxidables tels que les deux précédents, dans la précipitation avec adhérence, on concevra que le fer doive se comporter de la même manière, c'est-à-dire se déposer sur le cuivre et probablement sur d'autres métaux, par le contact du zinc. L'expérience a confirmé pleinement cette prévision. Le fer déposé sur le laiton affecte la couleur qui lui est propre.

Étamage du cuivre et du fer.

Le cuivre et le fer se recouvrent facilement d'étain de manière à donner un bon étamage. On opère comme les autres métaux. C'est une des opérations les plus satisfaisantes.

De l'intervention des courants plus ou moins intenses pour opérer les dépôts métalliques.

On a vu que la décomposition des doubles chlorures par immersion, à une température convenable, avec dépôt immédiat et adhérent du métal, pouvait s'opérer de deux manières, soit en plongeant seulement la lame de métal destinée à recevoir le dépôt dans une dissolution de double chlorure neutre à une température qui variait de 60 à 100 degrés ou aux environs, suivant la nature du métal, soit, quand celui-ci n'était pas assez oxidable pour décomposer la solution, en s'aidant du contact du zinc. On conçoit parfaitement que si l'on veut em-

ployer l'action d'un appareil électro-chimique composé de plusieurs couples, afin de donner une épaisseur au dépôt métallique, les effets varieront dans ces deux cas. Dans le premier il pourra arriver, et c'est ce qu'on observe le plus fréquemment, que le métal servant d'électrode négatif ne soit pas rendu par l'action du courant assez électro-négatif pour que la dissolution n'agisse pas sur lui. Dans ce cas, le contre-courant résultant de cette réaction l'emportera sur celui de la pile, et l'on obtiendra à peu près les mêmes effets que si le métal précipitant fût resté dans la solution. C'est ce qui arrive à l'égard du cuivre, par rapport à la dissolution de double chlorure de platine et de potasse, et des dissolutions de palladium, de rhodium, d'iridium, et de plusieurs autres. Il n'en est pas de même dans le second cas, attendu que le métal servant d'électrode négatif n'est pas attaqué par la dissolution, et se recouvre d'une couche métallique par le simple contact du zinc; il s'ensuit a fortiori que si l'on emploie, au lieu du courant résultant de ce contact, l'action provenant de plusieurs couples, le dépôt augmentera nécessairement d'épaisseur. C'est ce qu'on observe avec les dissolutions de cobalt, de nickel, d'antimoine, relativement au cuivre et à d'autres métaux sur lesquels les métaux qui entrent en dissolution se déposent avec adhérence par le contact seul du zinc. On a pris une lame de cuivre dont voici le poids et les principales dimensions :

Poids.	17,150
Longueur.	50 millimètres
Largeur.	20 millimètres
Surface en millimètres carrés.	1,150

Cette lame, mise en relation avec le pôle négatif d'un appareil voltaïque composé de six couples et fonctionnant avec de l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique, a été plongée dans une dissolution étendue de double chlorure de nickel et de so-

dium, semblable à celle dont on avait fait usage précédemment. Ce circuit a été fermé avec un fil de platine en relation avec le pôle positif. Cinq minutes après, la lame a été retirée de la dissolution, lavée, séchée et pesée; on a trouvé un accroissement de poids de 3 milligrammes. La lame agissait alors sur l'aiguille aimantée; remise de nouveau encore en expérience pendant cinq minutes, on a trouvé un nouvel accroissement de 4 milligrammes; en tout, pendant dix minutes, 7 milligrammes; ces 7 milligrammes étaient répartis sur une surface de 2300 millimètres carrés, c'est-à-dire qu'il y avait à peu près 3 centigrammes de nickel par décimètre carré. Les sels de cobalt ont donné sensiblement les mêmes résultats.

Le cuivre qui décompose, comme on sait, la dissolution de chlorure d'argent avec adhérence de la couche métallique, a été le sujet d'une expérience. Une lame de 50 millimètres de longueur et 23 de largeur a pris, sous l'influence du courant, $0^{gr},004$, résultat qui annonce qu'il s'est déposé environ $0^{gr},016$ par décimètre carré.

Avec le cuivre rouge et une solution de double chlorure d'étain et de sodium, on a obtenu, pour une surface de 2300 millimètres carrés, un accroissement de poids de 8 milligrammes en dix minutes, ce qui donne $0^{gr},0328$ d'étain par décimètre carré.

Le fer ne s'est recouvert dans le même temps que de $0^{gr},025$ d'étain.

Conclusions.

Dans le procédé que je viens de décrire, il y a trois choses essentielles à considérer: la composition de la liqueur dans laquelle entrent un chlorure alcalin et un chlorure métallique en proportion atomique égale, la température de la dissolution, l'adhérence du métal précipité qui cesse d'avoir lieu quand la couche a une certaine épaisseur, bien qu'on l'aide de l'action

voltaïque résultant du contact des pièces avec le zinc. Comment se fait-il qu'une double combinaison opère plus facilement la décomposition du sel métallique, avec adhérence du métal déposé, qu'en employant une dissolution métallique simple? Pour répondre à cette question, il faut partir de ce point, que le chlorure métallique, étant combiné avec le chlorure alcalin, a perdu déjà une portion de ses affinités ; d'où il suit que, son action étant moins forte sur le métal précipitant, les molécules du métal précipité ne se précipitent plus aussi tumultueusement que si l'on opérait avec la dissolution simple. En outre, les dissolutions de chlorure alcalin augmentent le pouvoir conducteur pour l'électricité des dissolutions métalliques ; ce qui contribue à donner encore une nouvelle énergie aux actions électro-chimiques.

L'action de la chaleur a été déjà examinée au commencement de ce Mémoire; je résumerai donc ici ce que j'en ai dit.

L'accroissement de chaleur augmente le pouvoir conducteur et favorise la décomposition en dilatant les corps, et permet aux molécules déposées de s'introduire un peu plus profondément dans les interstices moléculaires.

Les causes de l'adhérence, dans cette circonstance, sont les mêmes que celles qui président à la combinaison du métal précipitant avec le métal précipité ; la force d'agrégation propre aux molécules du métal précipité n'y contribue en rien, car les nouvelles molécules qui arrivent, quand la surface est recouverte, ne peuvent s'agréger entre elles. Ces causes sont tellement identiques avec celles qui produisent la combinaison, que, si la cohésion n'y mettait obstacle, cette combinaison s'effectuerait par la raison que les états électriques des éléments en présence sont les mêmes que si elle devait avoir lieu.

Je me suis attaché dans ce Mémoire, comme l'Académie a pu le voir, à traiter, de la manière la plus générale, le dépôt d'un métal non alcalin sur les métaux, en m'aidant quelquefois de l'action voltaïque. Cette question présente de l'intérêt non-

seulement sous le rapport des actions moléculaires, mais encore sous celui des applications aux arts ; quant à l'intervention de l'action voltaïque, elle est souvent déterminable, comme on en a un exemple à l'égard du cuivre par rapport à la dissolution de cobalt, de nickel. Dans ce cas, le cuivre étant le pôle négatif, on aurait pu croire que l'action était uniquement produite par l'action chimique de l'électricité dégagée dans la réaction de la solution sur le zinc; mais le manque de cohérence des molécules du métal déposé, quand la couche a acquis une certaine épaisseur, montre évidemment que dans les premiers instants du dépôt l'action du cuivre pour le cobalt ou le nickel, bien qu'existante, n'est pas assez forte pour décomposer la dissolution de ce dernier métal ; elle suffit cependant pour l'opérer et produire un dépôt adhérent par le contact du zinc. Ce que je dis des dépôts de cobalt, de nickel, a également lieu à l'égard de l'antimoine, etc. C'est dans l'étude des phénomènes de ce genre qu'on peut le mieux étudier les rapports si nombreux, si variés, si intéressants, qui lient les affinités et les forces électriques, rapports qu'on ne doit jamais perdre de vue dans toutes les opérations de chimie où trois corps sont en présence ; car il peut en résulter, si l'on tire parti des effets électriques produits dans cette circonstance, une nouvelle énergie dans l'action des forces chimiques dont on ne faisait usage jadis que dans quelques cas particuliers, et qui aujourd'hui est mise à profit, dans les actions chimiques et les actions moléculaires en général, comme la chaleur, un des auxiliaires les plus importants des affinités.

Je terminerai enfin ce Mémoire en faisant remarquer que tous les faits qui y sont rapportés reposent sur un principe simple, c'est-à-dire l'emploi des doubles chlorures métalliques et alcalins parfaitement neutres à une température qui varie de 60 à 100 degrés. Ce principe est fécond en applications, puisqu'il s'étend à peu près à tous les sels métalliques non alcalins. Si je n'ai pu donner la loi qui lie tous les phénomènes, j'ai

présenté du moins le principe général sur lequel elle repose ; une loi enchaîne à la vérité les faits, et en dernière analyse les résume tous ; mais le principe est le point de départ des recherches qui conduisent à sa découverte. L'étude des principes doit donc précéder celle des lois, aussi c'est celle qui m'a préoccupé.

Dans un autre Mémoire j'examinerai l'action qu'éprouvent, dans les mêmes conditions où j'ai opéré, tous les métaux à l'égard des dissolutions de titane, de chrome et d'urane, ainsi que la formation des alliages avec ou sans l'influence du contact métallique.

ADDITION AU MÉMOIRE QUI PRÉCÈDE, par Mr. BECQUEREL. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 1er avril 1844.)

Dans mon dernier mémoire relatif à la précipitation des métaux avec adhérence, j'ai dit que si l'on voulait employer l'action d'un appareil voltaïque composé d'un certain nombre de couples pour donner de l'épaisseur au dépôt, les effets devaient varier, suivant que le métal était plus ou moins attaqué; qu'il pouvait arriver que si le métal précipitant était trop fortement électro-positif, le courant provenant de quelques couples ne fût pas suffisamment énergique pour le rendre assez électro-négatif, afin que la dissolution ne pût pas réagir directement sur lui; mais qu'il n'en était pas de même pour quelques métaux, comme le cuivre par exemple, à l'égard des doubles chlorures de cobalt et de nickel, lesquels exigent, pour être décomposés, le contact du zinc. Depuis la lecture de mon mémoire, je me suis attaché à rechercher quels étaient les métaux qui jouissaient de la propriété, avec la dissolution dont je faisais usage, de recevoir des dépôts métalliques d'une certaine épaisseur au moyen des appareils électro-chimiques. J'ai commencé par les dépôts d'argent sur le cuivre, particulièrement le laiton, et comme l'argenture préoccupe beaucoup aujourd'hui l'industrie, j'ai pensé qu'il serait agréable à l'Académie de connaître les résultats satisfaisants auxquels je suis parvenu. Voici la marche que j'ai adoptée à l'égard des pièces de laiton de bijouterie. Ces pièces, après avoir été dérochées et décapées brillant, avec tout le soin possible, sont plongées pendant quelques minutes dans le bain bouillant de double chlorure d'argent et de sodium en solution concentrée aussi claire que possible. Aussitôt que la surface est argentée blanc mat, on la met en communication avec le pôle négatif d'un appareil composé de six à huit couples, en fermant le circuit avec une lame d'argent plongeant dans le même bain et en relation avec l'autre pôle ; on laisse continuer l'action décomposante du courant pendant le

temps nécessaire pour que le dépôt ait une épaisseur convenable : un quart d'heure suffit ordinairement, comme on le verra ci-après. Il faut avoir soin d'agiter la pièce pour éviter que le sel adhère à la surface. Il faut aussi que les pièces ne touchent pas au fond du vase, qui, pouvant s'échauffer plus de temps à autre, altérerait l'argenture. Cette précaution doit être encore prise par le motif que l'on réduirait le chlorure d'argent en excès, et qui n'est pas dissous ; de sorte que la lame se recouvrirait d'argent métallique pulvérulent. L'opération terminée, on retire les pièces de l'eau ; on lave et on sèche à la sciure. Si l'on opère en plein jour, il arrive fréquemment que la pièce jaunit sensiblement en la retirant du bain pour la laver et la sécher, ce qui ne peut être dû qu'à la formation d'une petite quantité de chlorure d'argent. On évite cet inconvénient en opérant, non pas dans l'obscurité, mais dans un demi-jour. Je dois indiquer une cause qui tend à altérer la beauté de l'argent : lorsque l'on argente une pièce de cuivre par immersion, la solution prend nécessairement du chlorure de cuivre en échange du chlorure d'argent ; de sorte qu'après un certain temps, lorsqu'il y a une certaine quantité de cuivre dans la dissolution, le courant dépose non-seulement de l'argent, mais encore du cuivre. Il suffit, pour éviter cet inconvénient, d'avoir deux bains bouillants, l'un servant à l'immersion, l'autre à l'emploi de la pile.

J'ai dit que l'on employait l'action de cinq ou six couples ; mais si l'on s'aperçoit que le précipité n'a que peu ou point d'adhérence, il arrive qu'en diminuant le nombre on obtient une intensité de courant qui détermine l'agrégation des molécules. On parvient quelquefois au même but en variant la température. On doit toujours en agir ainsi quand on opère sur des alliages dont on ne connaît pas bien la composition. Si l'on remplace l'électrode en platine par un autre en argent, il n'est plus nécessaire d'employer autant de couples, par la raison que l'argent étant attaqué, l'électricité circule plus facilement. On y trouve encore l'avantage d'avoir toujours une solution au maximum de saturation de chlorure d'argent.

Voici les résultats de deux expériences, qui montreront la quantité d'argent qui peut être déposée dans un temps donné avec quelques couples voltaïques seulement. On a pris une lame de laiton de 3 centimètres de long sur 2 de large, et présentant une superficie de 12 cen-

timètres carrés; pesée avant et après l'opération, elle a donné une augmentation de poids de 2 milligrammes. La différence entre le poids de l'argent déposé et celui du cuivre enlevé était donc dans le rapport de 0gr,016 par décimètre carré. Cette pièce a été soumise ensuite à l'action d'un courant provenant de neuf couples et pendant 10 minutes. L'augmentation de poids a été de 0gr,005. Cette fois il n'y avait pas eu perte de cuivre comme la première, où l'on avait argenté par immersion. Il s'est donc déposé près de 0gr,05 d'argent par décimètre carré.

On a fait une autre expérience avec une lame ayant 0m,054 de long sur 0m,026, présentant une superficie de 28 centimètres pour les deux faces. Après l'avoir argentée par immersion, on l'a soumise à l'action de neuf couples, en opérant dans les mêmes circonstances ; de deux en deux minutes, la lame était retirée du bain, lavée, séchée et pesée. Voici les augmentations de poids obtenues dans sept expériences :

NUMÉROS des expériences.	DURÉE de l'immersion.	POIDS de l'argent déposé.
	minutes.	gr.
1	2	0,011
2	2	0,013
3	2	0,008
4	2	0,010
5	2	0,009
6	2	0,008
7	2	0,007
	Total.....	0,066

On voit par ces résultats que dans l'espace de 14 minutes, sur une surface de 28c.c.,08, il s'est déposé 0gr,066 d'argent, c'est-à-dire 0gr,23 par décimètre carré, d'où l'on conclut que la couche d'argent a 0mm,23 d'épaisseur à la surface de la lame. Si l'on eût prolongé l'expérience, il est certain que l'épaisseur se serait augmentée en raison du temps. Si l'on jette les yeux sur le tableau, on voit que la quantité d'argent a été en diminuant, et qu'elle n'est pas proportionnelle au temps quand le courant a une force sensiblement constante. Je dois faire observer que, la lame étant continuellement en mouvement dans le bain, tantôt au milieu, tantôt sur les bords, il pouvait

très-bien se faire que la température ne fût pas partout la même, et que dès lors l'action du courant ne fût pas identique dans tous les instants.

Pour m'assurer si les pièces argentées par la méthode que j'ai décrite réunissaient les qualités exigées par le commerce, j'ai prié Mr. Mourey de faire donner à ses ouvriers un certain nombre de pièces, sans leur dire comment elles avaient été argentées, afin de les brunir, et leur faire subir toutes les préparations d'usage. Ces pièces, comme l'Académie peut le voir, ont résisté à toutes les épreuves et préparations d'usage ; entre autres l'espèce de mise en couleur de Mr. Mourey, laquelle consiste à tremper la pièce dans une dissolution de borate de soude, et à l'exposer ensuite à une température suffisante pour opérer la fusion aqueuse. Par ce moyen, on dissout probablement le sous-chlorure et en général les sous-sels métalliques. Je dois faire remarquer que tous les alliages de cuivre ne se prêtent pas aussi bien que le laiton de la bijouterie au mode d'argenture dont il est question, principalement ceux qui renferment une forte proportion de zinc, parce qu'alors cet alliage devient assez fortement électro-positif. Cet état pourrait être vaincu en employant un courant plus énergique que celui dont je me suis servi. On peut encore, dans quelques cas, obtenir de bons résultats au moyen d'un expédient que je vais indiquer.

Lorsqu'un morceau de cuivre, parfaitement poli et décapé, est platiné par immersion, d'après les indications du mémoire que j'ai lu à l'Académie il y a quinze jours, ce platiné est très-uniforme et a un beau brillant ; mais si l'on touche la pièce avec les doigts humides, les parties touchées se recouvrent d'une couche très-faible de couleur roussâtre, que l'eau acidulée par l'acide acétique enlève immédiatement, et la surface reprend son éclat. Cette couleur roussâtre ne peut provenir que de l'oxidation du cuivre par les interstices moléculaires de platine : car l'on sait que le dépôt de ce métal constitue un véritable réseau. L'oxidation du cuivre, dans ce cas, est d'autant plus rapide qu'il constitue avec le platine un couple voltaïque, de sorte qu'il est plus attaqué que si ce contact n'avait pas lieu.

J'ai pensé que si l'on plongeait du cuivre platiné dans une dissolution bouillante de sel marin et de chlorure d'argent qui sert à argenter, le cuivre devait être alors plus attaqué par le chlorure d'argent que s'il n'était pas en contact avec le platine. Il en résulte deux choses par

l'action des couples voltaïques cuivre et platine : le chlorure d'argent est décomposé ; l'argent se dépose sur le platine, et s'étend peu à peu au delà, de manière à remplir les interstices ; il s'ensuit que quand la dissolution d'argent ne peut plus réagir sur le cuivre, parce que les interstices moléculaires sont fermés, l'action décomposante cesse ; la pièce lavée et séchée n'éprouve plus ensuite aucune altération. L'argenture obtenue par immersion à l'aide de ce moyen offre une qualité essentielle, une forte adhérence, car elle supporte l'action du brunissoir.

La quantité du platine déposé est tellement minime, que l'industrie ne devra pas être arrêtée par l'opération préliminaire avant de l'argenter. Et en effet, quand on songe que par décimètre carré il ne se dépose pas 3 ou 4 centigr. de platine, dont le prix est de moins de un franc le gramme, on voit que le centigramme ne revient qu'à un centime.

Ainsi, la dépense du platine pour argenter après platiné ne doit pas arrêter. Certaines pièces de laiton, en raison de la quantité de zinc qu'elles renferment, ne peuvent pas être ou ne sont que difficilement argentées par immersion ; et dans ce cas, l'action d'un courant ne peut être employée, même à l'égard de certains laitons résistants. Dans ce cas, l'argenture après platiné est apte à recevoir des dépôts ultérieurs d'argent par l'action d'un courant.

Les détails que je viens d'exposer dans cette note suffiront aux personnes qui voudront s'occuper du dépôt d'argent sur laiton avec épaisseur.

Avis aux Abonnés de la *Bibl. Univ.* pour 1844.

Ils pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me de la nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à 30 fr. chacune, et les années 1841 à 1843 pour 32 fr. chacune, *non compris les frais de port.*

AVIS.

Les trois premiers volumes des *Archives de l'Électricité* (années 1841 à 1843) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

Pag

Sur la production de l'ozône par voie chimique, par Mr. le professeur C. Schoenbein 33

Quelques observations sur le Mémoire de Mr. Schœnbein, relatif à la production de l'ozône par voie chimique 45

Sur les figures électriques, par G. Karsten. 45

De l'électricité des vapeurs provenant des bouilleurs à haute pression, par Mr. Peltier. 47

Etudes de photométrie électrique, par Mr. A. Masson. 47

Des effets calorifiques des courants magnéto-électriques, et de l'évaluation mécanique de la chaleur, par J.-P. Joule 48

Recherches sur l'action que l'électricité et le magnétisme exercent sur l'élasticité des métaux, par Mr. G. Wertheim 48

Recherches sur la concentration de la force magnétique vers les surfaces des corps magnétisés, par Mr. le docteur de Haldat . . 49

Note sur un procédé de gravure photographique, par Mr. H. Fizeau. 49

Sur la réduction du laiton par la voie galvanique, par Mr. H. Jacobi. 50

Rapport entre le sens du courant électrique et les contractions musculaires dues à ce courant, par MM. Longet et Ch. Matteucci . . 50

De la couleur bleue que prend le fer, et du rapport qu'il y a entre ce phénomène et l'état passif que présente le même métal, par W. Beetz. 50

Application de l'électro-métallurgie aux arts, par MM. Elkington . . 51

De la précipitation des métaux par d'autres métaux, par M. Becquerel 52

Addition au Mémoire qui précède 55

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

DE GENÈVE.

ARCHIVES

DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

N° 16. (Tome IV. — 1844.)

Publié le 15 mars 1845.

Les personnes qui désirent s'abonner aux *Archives de Electricité* pour l'année 1845, sont priées de s'adresser :

Pour *Genève et le reste de la Suisse*, au Bureau de Bibliothèque Universelle, chez B. GLASER, rue de la élisserie, n° 133.

Pour *Paris et le reste de la France*, chez ANSELIN, braire, rue Dauphine, n° 36.

1844

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraissent tous les deux mois ; les six cahiers bimestriels forment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pages environ, même format et caractère que la Bibliothèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l'année 1844) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs.
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Pour Genève et la Suisse, au BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE, chez B. GLASER, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.

Pour Paris et la France, chez ANSELIN, successeur de MAGIMEL, rue Dauphine, n° 36, à Paris.

Pour Turin et le Piémont, chez PIC et chez BOCCA, à Turin.

Pour Milan et le R° Lombard-Vénitien, chez DUMOLARD, à Milan.

Pour Rome et les Ét. Rom., chez CAPOBIANCHI, employé des Postes, à Rome.

Pour le reste de l'Italie, chez PIATTI, libraire, à Florence.

Pour la Hollande, chez DELACHAUX, libraire, à Amsterdam.

Pour l'Allemagne et le Nord, chez MICHELSEN, libraire, à Leipsick.

Pour la Grande-Bretagne, chez BAILLIÈRE, à Londres.

:OURANTS ÉLECTRIQUES TERRESTRES, ET DE LEUR 'LUENCE SUR LES PHÉNOMÈNES DE DÉCOMPOSITION DE RECOMPOSITION DANS LES TERRAINS QU'ILS PARJRENT, par Mr. Becquerel. (*Comptes rendus des séances l'Académie des Sciences*, du 18 novembre 1844.)

PREMIÈRE PARTIE.

:re Premier. — *Des tentatives faites pour démontrer que le magnétisme terrestre a une origine électrique.*

:ause en vertu de laquelle notre planète possède la pro- magnétique polaire, est restée jusqu'ici couverte d'un |ue les recherches des physiciens n'ont pu encore sou- nalgré les nombreuses tentatives faites pour y parvenir. nullement l'intention de reprendre cette question dans le la résoudre, mais de prouver que les faits obser- qu'ici ne justifient pas l'origine électrique qu'on a : à donner au magnétisme de la terre, bien qu'il existe rants électriques sur la cause desquels on s'est mépris. ıvisager la question sous le point de vue général, je ıcerai par exposer rapidement les hypothèses qui ont :s successivement en avant pour expliquer le magné- rrestre.

rt est le premier qui ait avancé que la terre était un lont l'axe coïncidait sensiblement avec l'axe terrestre. cette hypothèse, les deux pôles magnétiques devaient er à peu de distance des pôles de la terre.

lansteen avança qu'il n'était pas possible de rendre les phénomènes observés, sans admettre un second

pôle magnétique dans les régions boréales, et que dès lors il devait exister un second aimant traversant le globe dans la direction d'un diamètre, et dont le pôle coïncidait avec le pôle magnétique de Sibérie. Mr. Hansteen, donnant un libre essor à son imagination, avança les idées les plus hardies sur la cause du magnétisme terrestre. Suivant lui, le soleil pouvait être considéré comme possédant un ou plusieurs axes magnétiques qui, suivant leur direction relativement à la terre, produisaient une différence dans le magnétisme de cette dernière, dans celui de la lune et des autres planètes. Cette hypothèse ne reposait sur aucun fait capable de la justifier, ni même sur aucune expérience dont on pût tirer une induction qui lui fût favorable. En l'adoptant, on ne faisait que reculer la difficulté, puisque l'on pouvait se demander d'où provenait le magnétisme solaire.

Mr. Biot ayant cherché à lier par le calcul toutes les observations relatives au magnétisme terrestre, en considérant la terre comme un aimant, prenant pour la distance des pôles une valeur indéterminée, et partant du principe que le pouvoir de chacun de ces pôles variait en raison inverse du carré de la distance au point sur lequel ils agissaient, a obtenu ainsi une expression générale de la direction de l'aiguille aimantée. En faisant varier la distance indéterminée, et comparant les résultats de l'expérience avec ceux du calcul, Mr. Biot a trouvé que plus les pôles étaient rapprochés, plus ces résultats s'accordaient ensemble, et que les erreurs, ou plutôt les différences entre les résultats du calcul et les observations, étaient réduites au minimum quand les deux pôles se trouvaient infiniment près l'un de l'autre, et à très-peu de distance du centre de la Terre. Il résultait évidemment de là que la Terre ne devait plus être considérée comme un aimant ordinaire, dont les deux pôles se trouvaient à ses extrémités. J'ajouterai que l'irrégularité des lignes magnétiques sur la surface du globe exclut une répartition régulière du magnétisme.

On conçoit combien il est important de définir parfaitement l'état magnétique de la terre, c'est-à-dire son identité avec un ou plusieurs aimants croisés dont les pôles sont situés dans telle ou telle partie, attendu que, lorsque le magnétisme sera parfaitement défini, la théorie de l'électro-magnétisme indiquera comment des courants électriques doivent être distribués sur la surface du globe pour produire les effets observés.

Les déductions auxquelles Mr. Biot a été conduit s'accordent bien, comme l'a démontré Mr. Barlow, avec l'hypothèse d'un corps soumis à un magnétisme passager par influence. Il résulte effectivement des expériences de ce dernier, que les lois du magnétisme terrestre sont incompatibles avec celles qui appartiennent à un corps dans un état magnétique permanent, tandis qu'elles coïncident parfaitement avec celles qui appartiennent à un corps dans un état passager d'induction magnétique. Ces conséquences, il faut le reconnaître, sont importantes pour la théorie du magnétisme terrestre, mais ne jettent aucun jour sur l'origine électrique de ce magnétisme.

Jusqu'à l'époque de la découverte de l'électro-magnétisme, l'agent magnétique n'avait aucune connexion avec l'électricité. Il restait isolé dans la nature, et il était impossible de tenter aucune recherche expérimentale touchant l'origine électrique du magnétisme terrestre; mais il n'en fut pas de même ensuite, quoique les expériences faites jusqu'ici n'aient répandu aucune lumière sur la question. Parmi les physiciens qui s'en sont occupés, nous mettrons en première ligne MM. Ampère et Barlow, qui émirent successivement des idées théoriques touchant l'origine électrique du magnétisme terrestre.

Le premier, assimilant la terre à un aimant, sans se préoccuper de la position des pôles magnétiques terrestres, ni de la direction plus ou moins irrégulière des lignes magnétiques, admit l'existence de courants électriques disséminés sur la surface du globe et dirigés de l'est à l'ouest. A l'aide de cette hypothèse, il chercha à expliquer la direction générale de l'ai-

guille aimantée, ainsi que les variations diurnes et annuelles auxquelles elle est soumise en chaque point du globe, en faisant intervenir la présence du soleil au-dessus de l'horizon, et sa hauteur aux diverses époques de l'année. Mr. Ampère, ne considérant la terre que comme un aimant régulier, envisageait la question sous un point de vue particulier. Il écarta les irrégularités que présentent les phénomènes magnétiques terrestres sur différentes parties du globe, ne les considérant que comme des difficultés de détail que des découvertes ultérieures parviendraient à lever. Cette hypothèse hardie, comme on le verra bientôt, ne saurait être admise.

Mr. Barlow, sans chercher à constater l'existence des courants signalés par Mr. Ampère, les adopta, à priori, et essaya de reproduire tous les effets du magnétisme terrestre au moyen d'un globe artificiel de bois, sur la surface duquel il distribua une série de courants électriques disposés de manière que leur action tangentielle pût donner partout, à une aiguille aimantée librement suspendue, une direction correspondante. Ce globe, dont les pôles avaient été placés dans la position des pôles magnétiques de la terre, produisit, à la vérité, sur une aiguille aimantée soustraite à l'influence du magnétisme terrestre et placée en diverses positions, le même genre d'action que la terre lui imprimait dans des positions analogues. Ce n'était là, il faut le dire, qu'une représentation de la théorie de Mr. Ampère, laquelle n'envisageait la terre que comme un aimant parfaitement régulier. Cette théorie, du reste, repose sur ce résultat important, trouvé par Mr. Ampère, que l'action d'un aimant auquel il a comparé la terre sur une aiguille aimantée, est la même que celle de courants électriques circulant autour de chaque molécule de cet aimant dans des plans perpendiculaires à son axe.

Mais en démontrant par le calcul que l'action était la même, c'est-à-dire que l'on pouvait substituer à l'action d'un aimant celle de courants électriques, il n'était pas dit pour cela que

les courants existassent réellement. Ce qu'il y a de certain, c'est que toutes les tentatives faites jusqu'ici pour démontrer l'existence de ces courants ont complétement échoué, comme on va le voir dans un instant. Mr. Ampère ne pouvant démontrer expérimentalement la substitution en question, c'est-à-dire l'existence de courants électriques, chercha du moins à rendre probable celle-ci. Il partit, à cet effet, de l'hypothèse que le noyau du globe est formé d'un bain métallique recouvert d'une croûte oxidée, et que l'eau et divers agents, en pénétrant par de nombreuses fissures jusqu'au bain, y produisaient une foule de réactions chimiques dont les phénomènes volcaniques nous attestent l'existence. Ces réactions chimiques une fois admises, il partit de là pour dire qu'il en résultait des courants électriques dont l'énergie devait être proportionnée à celle de ces mêmes réactions. On ne voit pas, il faut le dire, comment ces courants pourraient être produits, et, s'ils existaient, comment il se ferait que leur résultante fût dirigée de l'est à l'ouest. Il ne suffit pas, en effet, pour qu'il y ait production d'un courant électrique, qu'un corps réagisse chimiquement sur un autre, cas où il se dégage une énorme quantité d'électricité; il faut encore que les deux corps communiquent ensemble par l'intermédiaire d'un troisième conducteur de l'électricité non attaqué par les agents chimiques, ou du moins ne l'étant que faiblement, relativement à l'action chimique principale. Il faut, en outre, que ce troisième corps, pour reproduire les phénomènes magnétiques terrestres, se trouve dans le sens des parallèles magnétiques. Sans la présence de corps conducteurs intermédiaires, et dirigés comme on vient de le dire, il n'y a qu'une recomposition tumultueuse des deux électricités dégagées au contact de l'eau et autres substances avec le bain métallique. Bien que cette recomposition soit, en général, tumultueuse, néanmoins, dans certaines circonstances que nous allons indiquer, il se produit des courants électriques affectant mille directions.

La plupart des composés solides qui constituent la croûte superficielle de notre globe sont des corps oxidés, mauvais conducteurs de l'électricité, et qui, en raison de cela, ne peuvent concourir à la production des courants électriques. Mais il n'en est pas de même des substances métalliques qui remplissent les filons et veinules que l'on trouve dans un grand nombre de localités, et dont la quantité, il faut le dire, est bien minime comparée à celle des roches qui composent la croûte terrestre. Ces substances métalliques, en outre, ne forment que très-rarement des conducteurs très-étendus, par la raison qu'elles sont interrompues par des gangues quartzeuses ou autres non conductrices. Néanmoins, partout où ces substances existent, et lorsqu'elles sont en communication avec les sources d'électricité, il en résulte des courants partiels qui ne sauraient affecter aucune direction fixe, si ce n'est cependant dans quelques cas très-restreints. Les filons, veines et veinules, quand ils renferment des substances conductrices, peuvent donc établir la communication électrique entre le bain métallique et les liquides ou autres agents venus de la surface de la terre par des interstices sans nombre se croisant dans toute sorte de directions. Tels sont les courants électriques qui, d'après les idées de Mr. Ampère, peuvent circuler dans la croûte de notre globe, et dont la résultante ne saurait être dirigée de l'est à l'ouest, comme il l'avait annoncé. J'ajouterai que, si cette résultante existait, elle ne saurait être influencée par la chaleur solaire qui ne peut exercer son action dans les cavités plus ou moins profondes où s'opèrent les réactions chimiques en question.

Il est donc démontré que l'existence de courants électro-chimiques, circulant de l'est à l'ouest dans la croûte du globe et imaginés par Mr. Ampère pour expliquer les phénomènes magnétiques terrestres, ne saurait être admise. Nous verrons, dans un instant, qu'il existe d'autres causes que celles qui viennent d'être signalées, et qui sont capables de produire des cou-

rants électro-chimiques, souvent très-énergiques, lesquels néanmoins ne peuvent contribuer en rien à la production du magnétisme terrestre. Il ne reste plus maintenant qu'à examiner si, par hasard, les courants de Mr. Ampère n'auraient pas une origine calorifique. On sait que la moindre différence de température entre les points de jonction de deux lames ou de deux barreaux de métal différent, formant un circuit fermé, suffit pour troubler l'équilibre des forces électriques et produire des courants thermo-électriques. On sait aussi que ces mêmes effets se montrent dans de simples barreaux de bismuth, d'antimoine ou de zinc, c'est-à-dire de métal cristallisant par refroidissement. La condition première, pour qu'il y ait production d'effets thermo-électriques, est que les circuits soient continus et composés de substances conductrices telles que les métaux, l'anthracite et quelques substances minérales; c'est ce qui a rarement lieu, puisqu'elles sont souvent interrompues par des corps mauvais conducteurs. On ne saurait donc attribuer une origine calorifique aux courants terrestres. Les mêmes difficultés se présentent relativement à la production de courants dus à la différence de température existant entre le noyau central de la terre et la croûte solide qui le recouvre, et dont la température va successivement en s'affaiblissant jusqu'à une certaine distance de la surface. Tels sont les motifs qui ne m'ont pas permis depuis longtemps d'adopter les idées ingénieuses de Mr. Ampère, touchant la cause à laquelle on doit rapporter le magnétisme terrestre.

Bien que les considérations précédentes aient dû frapper tous les physiciens, néanmoins un grand nombre d'expériences ont été faites dans le but de constater l'existence de courants électriques terrestres ainsi que leur direction, dans l'espoir de leur faire jouer un rôle important pour expliquer soit le magnétisme terrestre, soit le remplissage des filons, soit les changements qui s'opèrent continuellement dans notre globe. La question change ici de face. Ce ne sont plus des vues théoriques, de

simples hypothèses qu'il s'agit d'examiner, mais bien des faits dont il faut apprécier la valeur, afin de montrer jusqu'à quel point les conséquences qu'on en a tirées sont fondées. L'erreur où l'on est tombé, en se livrant à des investigations de ce genre, provient, il faut le dire, en grande partie des traces que la théorie du contact a laissées dans la science.

Entrons dans quelques détails sur les observations qui ont été faites relativement aux courants électriques terrestres.

Parmi les substances qui se trouvent ordinairement dans les filons et qui, par leurs propriétés conductrices, ont fixé particulièrement l'attention des expérimentateurs, nous citerons les pyrites de fer, les pyrites cuivreuses, les pyrites arsenicales, le peroxide de manganèse, le fer magnétique, le cobalt arsenical, la galène, l'argent, le cuivre et l'or métallique, etc., etc.

Il est bien certain que, lorsque deux de ces substances, prises au hasard, sont en contact et mouillées par un *liquide* capable d'attaquer l'une d'elles, il y a production d'un courant électrique. Dans cette circonstance, le contact ne sert qu'à établir le circuit, mais la cause du dégagement de l'électricité réside dans la réaction chimique du liquide sur le corps solide. C'est ce dont on ne s'est pas préoccupé dans les expériences qui ont été faites dans les filons de Cornouailles. On a commencé par rechercher la nature des courants électriques produits par le contact de deux des substances précédemment dénommées et plongeant dans divers liquides. De ces expériences on a tiré les conséquences suivantes : les différents minerais qui sont associés ordinairement dans les mêmes filons s'accordent sous ce rapport, que leur action voltaïque réciproque est généralement très-petite, et que, s'il en était autrement, les apparences de décomposition, dans la même localité, seraient beaucoup plus marquées et plus générales qu'elles *ne le sont* en réalité. Or, aucune de ces conséquences ne saurait être admise, par la raison qu'on a fait attention seulement au simple contact qui est incapable, par lui-même, de dégager de

l'électricité, et nullement à l'influence du liquide actif sur l'une des substances en contact. En omettant cette condition indispensable, on entache d'erreur toutes les conséquences que l'on a tirées des faits observés.

J'arrive maintenant aux expériences entreprises dans le but de mettre en évidence les propriétés électro-magnétiques des filons métallifères de Cornouailles. L'appareil employé par le premier expérimentateur pour étudier ces propriétés se composait de petites plaques de cuivre fixées au moyen de clous de fer sur les parois des galeries ouvertes dans les filons, ou pressées fortement sur ces mêmes parois, au moyen d'étais en bois ; ces plaques, mises en communication avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur, ont été placées dans une infinité de positions, et chaque fois on a tenu note de la direction et de l'intensité du courant. Voici les principaux faits qui ont été observés: l'intensité du courant varie suivant les localités ; tantôt la déviation de l'aiguille aimantée est faible, tantôt elle est très-considérable ; en général, elle est d'autant plus grande que le filon renferme une plus grande quantité de cuivre, et peut-être même en raison de la profondeur des stations. L'action est nulle ou à peine sensible, selon qu'il y a absence ou peu de substances métalliques. Il n'y a aucune action lorsqu'il n'existe qu'une distance de quelques mètres entre les plaques dans une direction horizontale, et qu'il se trouve entre elles une grande quantité de cuivre non interrompue par des substances non conductrices ; mais s'il existe, par hasard, dans le filon, du quartz ou de l'argile, l'action est ordinairement bien marquée ; il en est encore de même quand les deux plaques sont placées à diverses profondeurs dans la même veine ou dans des veines différentes. Les courants sont dirigés tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. En comparant les filons ou veines parallèles, on a cru remarquer que l'électricité positive se dirigeait du nord au sud, quoique le contraire ait lieu dans quelques cas.

Dans les veines dirigées vers le nord, l'est est ordinairement

positif, et l'ouest négatif. Enfin, en comparant l'état des filons à différentes profondeurs, on a cru reconnaître que les stations inférieures paraissaient négatives relativement à celle d'en haut, sans cependant que cela soit une règle générale, puisque le contraire a lieu quand une veine transversale de quartz ou d'argile est interposée entre les plaques. On voit par là qu'il n'y a aucune régularité dans la marche des phénomènes observés. Dans une autre série d'expériences faites après la précédente, en employant les mêmes moyens d'expérimentation, on a obtenu des résultats à peu près semblables. On a reconnu seulement, en outre, que dans les filons qui ne produisent que de l'étain, et dont plusieurs sont en contact avec le cuivre, on n'aperçoit aucune trace de courant, si ce n'est dans les cas où l'espace intermédiaire est rempli d'un riche minérai de cuivre; de plus, la présence de l'électricité est plus marquée quand la veine renferme des pyrites cuivreuses, du cuivre vitreux, du cuivre noir, de la galène et de la blende, et elle est inappréciable lorsqu'il n'existe pas de parties métalliques; enfin, que des veines renfermant des pyrites cuivreuses, du cuivre gris et de la galène, d'autres du carbonate, du phosphate de plomb et du cuivre gris, n'indiquent aucune trace d'électricité.—Parmi tous ces faits, il y en a quelques-uns qui peuvent être exacts, et d'autres sur l'origine desquels on s'est trompé, sans aucun doute; en effet, comment ont agi les expérimentateurs pour constater l'existence des courants? Ils ont pris deux lames de cuivre, dans un état quelconque, et, après les avoir appliquées sur les parois des galeries de mine, ils les ont mises en relation avec un multiplicateur. Or, deux lames de cuivre produisent toujours un courant électrique dans leur contact avec l'eau, toutes les fois que leurs surfaces ne sont pas parfaitement identiques. Cette identité n'ayant lieu que très-rarement, l'effet électrique est d'autant plus marqué que l'eau renferme plus de sels en dissolution, pouvant réagir chimiquement sur les corps étrangers adhérant aux surfaces. Il en est encore de même en sub-

stituant aux lames de cuivre deux lames de platine dont les surfaces ne sont pas identiquement les mêmes. Dans les expériences faites dans les mines de Cornouailles, les effets secondaires dont je viens d'indiquer la cause n'ont pas été distingués des effets directs. On conçoit effectivement que l'eau, plus ou moins chargée de diverses substances adhérant aux parois des galeries sur lesquelles on plaçait les plaques de cuivre, a dû réagir plus ou moins énergiquement, suivant la nature des sels renfermés dans l'eau, sur le cuivre et les clous de fer qui servaient à les fixer; d'où sont résultés, par conséquent, des courants électriques souvent énergiques, qui ont dû se confondre, masquer entièrement ou détruire partiellement les courants dont je vais parler, et sur l'existence desquels les expérimentateurs n'avaient aucune idée.

Je pose d'abord en principe, et je le prouverai, qu'il y a souvent, dans la terre, une énorme quantité d'électricité libre à chaque instant, par suite de réactions chimiques dont on ne s'est pas encore occupé, laquelle est capable de produire des effets chimiques, toutes les fois qu'elle rencontre sur sa route des corps conducteurs dont la présence est indispensable pour déterminer la production de courants électriques.

La production de cette électricité rentre dans la loi générale qui régit le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques; pour bien concevoir cette production, il est bon de rappeler en quelques mots en quoi consiste la constitution de la croûte superficielle du globe. Cette croûte a été partagée en quatre grandes divisions ou formations, en raison de l'âge relatif de chacune d'elles, de la nature et de la composition des substances dont elles sont formées, de la présence ou de l'absence de corps organisés ou de leurs débris, servant à les caractériser. Chacune de ces formations est elle-même formée d'un grand nombre d'autres formations, séparées quelquefois par des argiles, des sables ou autres substances perméables à l'eau. Tous ces terrains, par suite de soulèvements ou de com-

motions que la croûte a éprouvées à diverses époques, ont été plus ou moins disloqués, fendus dans une infinité de directions, de sorte que la plus grande partie de ces terrains livrent passage à l'eau qui, chargée d'air, et tenant en dissolution diverses substances, humecte les parois de ces fentes, et par suite les roches encaissantes, et détermine plus ou moins la décomposition de celle-ci. Si nous considérons, en effet, successivement les quatre ordres de terrains étudiés par les géologues, terrains tertiaires, terrains secondaires, terrains intermédiaires et terrains anciens, nous voyons de toutes parts des traces de décomposition sur lesquelles nous reviendrons dans le second chapitre de ce Mémoire, afin de montrer jusqu'à quel point l'électricité peut intervenir dans leur production.

Si nous considérons en premier lieu la formation tertiaire, nous trouvons d'abord les terrains d'alluvion et diluviens composés de graviers, de sables et d'argile, etc., etc., tous très-perméables à l'eau, et pouvant servir, par conséquent, à transmettre à de grandes distances des courants électriques dus à une cause quelconque. Au-dessous se montrent les calcaires d'eau douce et marine qui, lorsqu'ils sont parfaitement compactes, sans fissures, ne livrent point passage à l'eau, ou du moins très-difficilement, cas assez rare, mais dont les parties inférieures, séparées par des sables siliceux ou des marnes argileuses, sont conductrices de l'électricité en raison de l'eau qui les imprègne. Au-dessous se rencontrent des lits de gypse, séparés encore par des marnes plus ou moins humides, pouvant servir également à transmettre les courants électriques à de très-grandes distances. Au-dessous, enfin, se trouve cette argile plastique pénétrée d'humidité, formant souvent des dépôts épais, et pouvant contribuer également au transport de l'électricité.

Dans les terrains secondaires, chacune de leurs divisions nous présente des calcaires avec leur argile, leur sable ou leur grès, pouvant servir à la transmission des courants électriques.

Dans les terrains intermédiaires, il existe une série de couches alternatives de houille, de schiste, de grès, de roches de diverse nature, quelquefois séparées par de l'argile, et présentant par conséquent çà et là des parties plus ou moins perméables à l'eau.

Dans les terrains primitifs, d'après la nature des roches qui les composent, l'eau n'y peut pénétrer que par les fentes ou fissures résultant des dislocations qui ont eu lieu lors des soulèvements ou des tremblements de terre, ou bien en vertu de décompositions successives dues à l'action de l'eau, de l'air et d'autres agents chimiques.

Quant aux filons ce sont, comme on le sait, des fentes d'une grande étendue, faites, la plupart du temps, dans les temps anciens, et remplis postérieurement par des substances métalliques et des composés pierreux appelés *gangues*. Ces remplissages ont été effectués soit par voie ignée ou de volatilisation, soit par voie aqueuse ou de dépôts venus de la surface de la terre. Ces filons livrent presque toujours passage à de l'eau renfermant différents sels ou composés, provenant de sa réaction sur les substances qu'elle rencontre, laquelle gêne souvent les exploitants.

On voit donc, d'après ce court exposé, que l'eau se trouve en plus ou moins grande quantité dans les diverses formations de la croûte superficielle de notre globe, et principalement dans les parties composées de sable, d'argile, de roches poreuses, de roches fendillées ou en décomposition, de roches enfin perméables à l'eau, en vertu d'action capillaire. Comme ces terrains s'étendent souvent à de très-grandes distances, s'il existe dans la terre de l'électricité ayant une tension suffisante, ils peuvent servir à la transporter au loin, et même jusqu'aux substances métalliques qui remplissent les filons et dont la plupart sont conductrices de l'électricité.

Mais, par cela même que l'on trouve dans la terre des conducteurs liquides et solides, ainsi que des causes qui dégagent

de l'électricité, comme je vais le démontrer, il ne s'ensuit pas qu'il existe des courants électriques; il faut, pour qu'ils se manifestent, des circuits fermés mixtes, dans lesquels se trouve au moins un corps solide conducteur. Toutes les fois que cette condition n'est pas remplie, il n'y a qu'une recomposition tumultueuse d'électricité. Voyons maintenant quelles sont les causes qui peuvent donner lieu à un dégagement d'électricité dans la terre, ainsi que les circonstances qui amènent la production des courants.

Je m'attacherai particulièrement aux argiles, qui par leur nature se prêtent parfaitement à mes vues; il sera facile ensuite d'étendre à d'autres terrains perméables à l'eau ce que j'en aurai dit. Je suppose une vaste étendue de terrain argileux, humide, dont une partie renferme du sulfate de chaux, et dont l'autre en soit privée; il est bien évident que l'eau qui humectera la première se chargera de sulfate, tandis que l'autre en sera privée. Que résultera-t-il de là? L'eau chargée de sulfate de chaux réagira sur celle qui n'en renferme pas, de manière à lui céder une portion du composé qu'elle tient en dissolution; cette réaction s'opérera, bien entendu, sur toute la surface de contact; pendant cette réaction, il y aura un dégagement d'électricité tel, que l'eau saturée rendra libre de l'électricité positive, et l'eau qui ne l'est pas, de l'électricité négative. Ces deux électricités se recombineront tumultueusement à la surface de contact, pour former du fluide neutre, sans pour cela qu'il y ait courants électriques. Supposons maintenant que la végétation se soit développée à la partie supérieure de ces argiles; des racines et des radicelles pénétreront dans l'intérieur à de très-grandes profondeurs, comme du reste on en a fréquemment des preuves en examinant ces terrains. Dès l'instant que la végétation aura cessé, les racines se décomposeront et se changeront en matières carbonacées et conductrices de l'électricité. Ces débris de racines seront autant de conducteurs qui détermineront la circulation du fluide électrique; mais,

comme les racines et radicelles affectent mille directions diverses, il s'ensuit qu'on aura une infinité de petits courants dont la résultante changera d'un point à un autre. Substituons, par la pensée, aux racines décomposées, des pyrites qui se trouvent souvent dans les argiles, ou d'autres substances minérales conductrices apportées par les eaux et déposées par elles, telles que du peroxide de manganèse, etc.; tous ces corps rempliront les mêmes fonctions que les racines décomposées, et seront également le lieu d'une infinité de courants électriques capables de produire des effets électro-chimiques dont je parlerai dans le chapitre second.

Dans l'état actuel des choses, il est impossible de concevoir des courants électriques terrestres ayant une autre origine que celle que je viens d'indiquer; l'expérience est venue confirmer toutes mes prévisions.

On conçoit parfaitement qu'au lieu d'argile j'aurais pu prendre toute autre substance, toute autre roche perméable à l'eau; de même qu'au lieu de sulfate de chaux j'aurais pu admettre que l'eau renfermait une des substances dont elle se charge ordinairement en traversant les différents terrains. Maintenant, supposons qu'on substitue aux racines décomposées, aux pyrites ou autres substances conductrices, deux lames de platine parfaitement homogènes et en relation avec un multiplicateur, et que l'une de ces lames soit introduite dans l'argile humectée d'une solution de sulfate de chaux ou d'une autre substance, et l'autre dans l'argile qui ne renferme que de l'eau pure; il est bien évident que la première lame s'emparera de l'électricité positive que dégage le liquide saturé dans sa réaction sur celui qui ne l'est pas, tandis que l'autre lame s'emparera de l'électricité négative. De là, courant électrique, qui manifestera son action sur l'aiguille aimantée, tant que des lames de platine ne seront pas polarisées.

Eh bien, j'ai fait un grand nombre d'expériences pour constater l'existence de courants électriques dus à la cause que je

viens de signaler; toutes m'ont donné les résultats les plus satisfaisants; mais, comme il est inutile d'en citer un trop grand nombre, je me bornerai à rapporter les trois principales séries que j'ai faites l'été dernier, en France, en Suisse et en Savoie, dans les circonstances les plus propres à bien mettre en évidence les principes que je viens d'exposer.

J'ai opéré, 1° sur une couche étendue d'argile, dont une portion était saturée de chlorure de sodium, et dont l'autre n'en renfermait pas ou n'en renfermait que très-peu; 2° sur un terrain conducteur de l'électricité dont une partie était à la température 0 degré jusqu'à une certaine profondeur, et dont l'autre était à 10 ou 12 degrés; 3° sur deux portions de terrains, dont l'une était à 40 degrés environ, et l'autre à 12 degrés. Les conditions, dans le premier et le troisième cas, étaient les plus propres à donner des courants énergiques.

Première série d'expériences.

Les expériences de cette série ont été faites dans la mine de sel gemme de Dieuze. On sait que le sel gemme, dans cette localité comme dans tous les gisements analogues, se trouve dans les marnes irisées, et que les bancs de cette substance alternent avec des bancs d'argile renfermant plus ou moins de sel, ainsi qu'une très-petite quantité d'eau plus ou moins saturée. Je me trouvais donc dans les conditions les plus favorables pour avoir des courants énergiques : je me suis placé dans une galerie taillée dans un banc de sel gemme ayant environ 4 mètres de hauteur; les parois de cette galerie, ainsi que le toit, sont en sel gemme, et le sol est argileux; quoique l'air soit très-sec, les parois et le sol renferment néanmoins assez d'eau pour conduire les courants électriques.

Première expérience. — Le multiplicateur ayant été établi solidement sur une planche posée sur le sol, une lame de platine non polarisée, en communication avec l'un des bouts du

fil, fut introduite dans l'argile du sol, à une distance de 55 mètres. L'aiguille aimantée fut chassée vivement de sa position d'équilibre, et alla frapper l'arrêt en se maintenant à 90 degrés. Le sens de la déviation était tel, que la lame en contact avec le sel gemme prit l'électricité positive, résultat facile à expliquer quand on se rend compte de la réaction de l'eau saturée sur celle qui ne l'est pas, par l'intermédiaire des couches d'argile ou de marne qui les séparent. Pour mettre hors de doute cette explication, je fis l'expérience suivante :

Deuxième expérience. — Une des lames fut appliquée sur le sol, l'autre placée à une distance de 77 mètres également sur le sol; je versai une petite quantité d'eau saturée de sel sur la partie même où était posée la seconde lame. Le courant, à l'instant où le circuit fut fermé, fut si intense, que l'aiguille fut chassée avec une grande force contre l'arrêt, et continuait à être agitée. Sa direction était dans le même sens que précédemment, c'est-à-dire que la lame en contact avec l'argile humectée d'eau saturée, avait pris de l'électricité positive. L'expérience fut répétée avec le même succès en plaçant les lames à une distance de 150 et même 200 mètres. Je ne doute pas qu'à des distances beaucoup plus considérables les résultats n'eussent été les mêmes.

Troisième expérience. — Cette fois chaque lame fut tenue entre les doigts légèrement humectés d'eau, par une personne placée précisément à l'endroit même où se trouvait cette lame dans l'expérience précédente. Les résultats furent semblables, à l'intensité près. Dans ce cas, les corps des deux observateurs servaient de conducteurs à l'électricité dégagée dans la réaction de la dissolution saturée sur celle qui ne l'était pas. Or, comme le corps humain est mauvais conducteur, il fallait dans cette circonstance que la tension de l'électricité fût assez forte pour vaincre la résistance qu'il lui présentait.

Quatrième expérience. — Les lames furent placées cette fois de telle manière que les résultats devaient être encore plus

frappants que dans les expériences précédentes. L'une d'elles fut placée sur le sel gemme, l'autre à 130 mètres de distance dans le sol en dehors de la mine, le fil conducteur traversant le puits. De cette manière, la première lame se trouvait en contact avec de l'eau saturée de sel, tandis que l'autre était en contact avec de l'eau qui n'en renfermait pas sensiblement; l'aiguille fut encore chassée avec violence dans un sens annonçant que les effets électriques produits étaient dus à la réaction de la dissolution saturée sur l'eau qui humectait la terre végétale à la surface du sol; cette réaction s'opérait de proche en proche au moyen de l'eau, humectant les argiles et les bancs de sel gemme intermédiaires. Tout le terrain entre le sol et le grand banc de sel gemme est composé, comme je l'ai déjà dit, de couches alternatives de bancs de sel gemme et d'argile. Cette expérience et les précédentes démontrent donc, de la manière la plus évidente, que les effets électriques obtenus provenaient d'une réaction chimique dont la nature était bien déterminée, et pouvaient être transmises à de grandes distances. Mais sans l'emploi de lames de platine pour former un circuit fermé, il n'y aurait pas eu de courants électriques, à moins qu'il ne se fût trouvé dans les argiles des corps conducteurs de l'électricité semblables à ceux qui ont déjà été mentionnés. Les faits observés dans cette série d'expériences confirment complétement l'explication que j'ai donnée des courants électriques terrestres.

Cinquième expérience. — Les masses de sel gemme en contact avec les couches d'argile humectées d'eau, ayant une vaste étendue, et étant de bons conducteurs, il n'est pas étonnant qu'en réagissant les unes sur les autres, les deux lames de platine aient recueilli une quantité considérable d'électricité; je me trouvais donc dans des conditions favorables pour que le courant pût opérer des décompositions électro-chimiques. Je ne laissai pas échapper l'occasion de vérifier ce fait : deux lames de platine furent placées à une distance d'environ 80 mètres,

l'une dans le sol de la galerie, l'autre appliquée avec pression sur l'une des parois latérales. A chacune d'elles était fixé un fil de platine, auquel était attaché un fil de cuivre terminé par un fil de platine. Ces précautions avaient été prises pour que l'eau salée qui humectait la lame n'attaquât pas le fil de cuivre. Cette même précaution avait été prise dans les expériences précédentes. Les deux extrémités libres des deux fils furent placées sur une bande de papier préparé avec l'amidon, et humecté d'une solution d'iodure de potassium ; la présence de l'iode ne tarda pas à se faire remarquer autour du fil formant le pôle positif. La tension de l'électricité était donc suffisante pour opérer une décomposition chimique. Je ferai observer que toutes les expériences ont été répétées en intervertissant les lames, c'est-à-dire en plaçant l'une à la place de l'autre, et réciproquement, afin de se garantir des effets de polarisation accidentelle que manifestent toujours les lames de platine quand elles ont fonctionné pendant quelque temps.

J'ajouterai que les lames qui m'ont servi avaient une forme carrée de 6 centimètres de côté. Si je me fusse servi de grandes lames, et que j'eusse fait déboucher l'électricité recueillie dans une dissolution saline, au moyen de deux fils fins de platine, on conçoit quelle aurait été l'énergie de la force décomposante. En opérant avec des lames de platine, je m'étais placé dans une condition défavorable; mais si, à la place de celle qui prenait à la terre l'électricité négative, j'eusse employé une lame de zinc, on aurait eu alors un courant capable de produire toutes sortes de décompositions.

Seconde série d'expériences.

Première expérience. — Les expériences faites dans les salines de Dieuze ont été répétées sur la mer de glace du Montanvert, au-dessus de la vallée de Chamouny, en suivant exactement les mêmes indications et avec le même multiplicateur, les

lames et les fils qui m'avaient déjà servi. L'une des lames de platine fut appliquée avec adhérence sur un bloc de glace, l'autre introduite dans la terre à environ 50 mètres de distance. La température de la terre où se trouvait la lame était alors de 11 degrés. L'aiguille aimantée fut chassée par première projection à 40 degrés, et se fixa à 12. Dans une seconde expérience, le résultat fut sensiblement le même. Le sens de la déviation indiquait que la lame placée sur le bloc de glace avait pris l'électricité négative; en tenant entre les doigts, comme dans la saline de Dieuze, la lame de platine qui avait été introduite dans la terre, l'aiguille aimantée fut déviée dans le même sens, mais pas autant qu'avant, la déviation par première projection n'étant que de 20 degrés. Il fallait, pour que cet effet fût produit, que la tension de l'électricité fût assez considérable, malgré la mauvaise conductibilité du corps humain. Le sens du courant indiquait que les effets électriques ne provenaient pas de la réaction de l'eau froide sur l'eau chaude; car, si cela eût été, le courant aurait été dirigé en sens inverse; il fallait donc qu'ils provinssent de la réaction des liquides différents humectant les terrains, se trouvant dans le circuit dont les lames de platine faisaient partie. Pour m'en assurer, j'ai opéré comme il suit :

Deuxième expérience. — La lame qui était placée en terre dans l'expérience précédente fut mise en contact avec un second bloc de glace, situé à une distance d'environ 60 mètres du premier. La déviation eut lieu encore dans le même sens. Les deux lames étaient évidemment à la même température; par conséquent, les effets électriques devaient provenir d'une réaction chimique et non d'une action calorifique. Je ferai observer que les courants obtenus sur les glaciers n'avaient qu'une faible intensité, comparés à ceux obtenus à Dieuze, par la raison que la glace, étant mauvais conducteur, ne pouvait transmettre qu'une faible portion de l'électricité dégagée dans la réaction des terrains inférieurs. Il est probable que si le so-

leil, qui brillait alors, n'eût pas fait fondre une petite quantité de glace à la surface des blocs, ceux-ci auraient été privés sensiblement du pouvoir conducteur.

Troisième série d'expériences.

Je dus répéter les mêmes expériences dans une localité où les différences de température étaient beaucoup plus grandes. Je choisis, en conséquence, l'établissement des bains d'Aix en Savoie, où la température de certaines sources s'élève jusqu'à 50 degrés.

Première expérience. — Après avoir fait les mêmes dispositions que précédemment, une des lames fut plongée dans l'eau de la source dite Eau de soufre, dont la température était d'environ 43 degrés, et l'autre dans de l'eau pure coulant à la surface du sol, et dont la température était de 13 degrés. Les distances des deux stations étaient de 4 mètres en hauteur et de 6 mètres en largeur. A l'instant où le circuit fut fermé, l'aiguille frappa fortement l'arrêt à 90 degrés. Le sens de la déviation indiquait que la lame plongée dans la source sulfureuse chaude prenait l'électricité négative, ce qui indiquait que les effets électriques pouvaient provenir de la réaction de l'eau chaude sur l'eau froide; l'effet fut encore le même en intervertissant les lames, afin de se mettre en garde contre les effets de polarisations secondaires.

Seconde expérience. — L'une des lames fut placée dans la source d'alun, dont la température est un peu moins élevée que la précédente; l'autre dans l'eau d'un ruisseau coulant à la surface, et dont la température était de 13 degrés. L'aiguille aimantée fut encore fortement déviée, puisqu'elle alla frapper l'arrêt placé à 90 degrés. Il est hors de doute que si j'eusse essayé de produire des décompositions chimiques, j'eusse obtenu les mêmes effets qu'à Dieuze.

Ces trois séries d'expériences ont été faites dans les circon-

stances les plus favorables pour montrer quelles sont les causes en vertu desquelles on obtient des courants électriques dans les mines, en se servant, non pas, comme on l'a fait jusqu'ici, de lames en cuivre qui donnent des effets secondaires dus à la réaction chimique du liquide sur le métal, mais bien de lames de platine, dont les surfaces sont très-homogènes.

Si l'on se transporte dans un filon exploité de galène ou de pyrites cuivreuses avec un multiplicateur et des lames de platine fixées à des fils du même métal, et qu'on opère comme je l'ai fait précédemment, on pourra prédire à l'avance le sens du courant, quand on connaîtra la nature des eaux qui humectent les parois des galeries et des terrains environnants.

L'explication que je viens de donner de la production des courants électriques terrestres repose sur des faits tellement concluants, que je la crois à l'abri de toute objection. Il est donc prouvé maintenant qu'il n'existe réellement de ces courants que lorsque deux terrains en contact, d'une nature quelconque, sont humectés, que l'eau de l'un tient en dissolution des composés qui ne se trouvent pas dans l'autre, et que l'un et l'autre terrain sont traversés par des substances conductrices, telles que matières carbonacées, pyrites, galène, etc. Si tous ces corps ne forment pas des conducteurs continus, il y aura autant de courants partiels, et par suite de centres d'action décomposante, qu'il y a de conducteurs séparés. J'ai encore plusieurs observations à présenter, et qui ne sont pas sans quelque importance dans les circonstances actuelles, où de toutes parts on s'occupe de l'établissement de télégraphes électriques, et de la possibilité de se servir de la terre comme d'un conducteur.

L'existence de courants terrestres peut être constatée, comme je m'en suis assuré, dans une foule de localités où l'on ne soupçonne pas des différences notables dans la nature des terrains, et cela uniquement par suite des eaux qui les humectent. Il suffit, pour cela, de placer dans un terrain quelconque, à la

distance de quelques mètres, deux lames de platine très-propres, en relation avec un multiplicateur; la déviation de l'aiguille aimantée indiquera presque toujours une différence de composition dans les portions de terrain qui paraissent identiques.

En substituant à la lame de platine qui prend au terrain l'électricité négative une lame de zinc, alors le courant résultant de l'action de ce dernier s'ajoute à celui fourni par la terre, et l'effet électro-chimique devient très-manifeste. On conçoit, d'après cela, que lorsqu'on transmet un courant à travers la terre, au moyen de deux lames de métal, ce courant peut s'ajouter ou aller en sens inverse du courant local; son intensité se trouve ainsi augmentée ou diminuée. C'est une considération à laquelle on ne saurait se dispenser d'avoir égard quand on veut obtenir un maximum d'effet.

Il pourrait se faire encore que des sources énergiques d'électricité, comme celles que j'ai trouvées dans la Lorraine et la Savoie, situées entre les électrodes ou réophores, fussent déchargées, quoique à de grandes distances, par l'intermédiaire des terrains humides qui les séparent de ces mêmes électrodes.

J'ajouterai enfin qu'on ne doit pas être étonné de l'énorme quantité d'électricité recueillie dans mes expériences avec de très-petites lames de platine, quand on songe que les sources d'où elles émanaient avaient une très-grande étendue, et qu'elles devaient leur en céder en raison même de leur étendue.

Dans un second mémoire, j'examinerai les effets chimiques produits sur les roches et autres substances qu'elles renferment, par les courants dont je viens d'indiquer l'origine, ainsi que les produits secondaires qui en résultent.



REMARQUES SUR QUELQUES ANOMALIES APPARENTES DANS LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES PRODUITS PAR LA FOUDRE; lettre de Mr. PELTIER. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 16 décembre 1844.)

Dans la relation que Mr. l'abbé Chapsal a faite de l'orage qui a éclaté sur la commune d'Ille (département des Pyrénées-Orientales), le 24 août 1842, on remarque plusieurs particularités curieuses que Mr. Arago a fait judicieusement ressortir dans la séance dernière.

La bizarrerie apparente des effets de la foudre a donné lieu à beaucoup d'explications erronées; n'ayant pas suffisamment distingué ce qui appartenait à chacun des deux ordres de phénomènes électriques, permettez, Mr. le président, que j'apporte le tribut de mes observations et de mes expériences à la solution de cette question.

En janvier 1838, j'ai communiqué à la Société philomatique les résultats que j'avais obtenus en soumettant des barreaux de fer aux décharges électriques. Ces expériences ont mis hors de doute que l'électricité qui traverse un barreau de fer ne lui donne pas de magnétisme par sa propagation; mais elles ont démontré en même temps qu'une décharge électrique agit mécaniquement sur les molécules du barreau, à la manière de la percussion et de la torsion; c'est-à-dire que si le barreau possède un magnétisme développé par l'influence du globe terrestre ou par celle d'un courant voisin, la décharge d'une bouteille de Leyde, ou d'une batterie, coerce ce magnétisme, en tout ou en partie, comme le feraient les coups de marteau, mais n'en développe pas.

Le magnétisme coercé est d'autant plus considérable, que l'on a placé le barreau plus parallèlement à l'aiguille d'inclinaison, et que la décharge a été plus forte et plus instantanée. Lorsque le barreau est, au contraire, perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison et au plan du méridien magnétique, il n'y a jamais de magnétisme produit, quelle que soit la puissance de la décharge. J'ajouterai, à ce que j'ai publié alors, qu'un effet analogue se reproduit lorsque l'on fait passer la décharge à travers l'épaisseur du barreau ; la décharge coerce encore le magnétisme développé par influence sans en produire de nouveau; mais cette coercition est beaucoup plus faible que la première, par la raison qu'il y a un moins grand nombre de molécules qui éprouvent l'action de la décharge. Dans cette dernière expérience, lorsque la décharge se fait transversalement, il peut se présenter deux cas qu'il faut soigneusement distinguer. Si la conductibilité est bien établie, et si les pôles des conducteurs sont assez éloignés pour que toute la décharge traverse le barreau, il n'y a alors aucun magnétisme nouveau de produit : il n'y a de conservé qu'une portion de celui qui était développé par influence. Mais si la conductibilité est mal établie, si les pôles sont peu éloignés, une portion de l'électricité se décharge par dessus le barreau, en sautant d'un pôle à l'autre; dans ce cas, il y a toujours aimantation, quelle que soit la position du barreau par rapport au méridien magnétique. Dans cette circonstance, la décharge extérieure ne fait que reproduire le mode d'aimantation que la science doit à Mr. Arago.

Ces expériences font disparaître toutes les anomalies apparentes du magnétisme produit par la foudre. Il y a aimantation, ou mieux, coercition de magnétisme dans les barreaux traversés par la foudre, si ces barreaux en possèdent un d'influence au moment de la décharge; il n'y en a pas, si le barreau est neutre. Il y a aimantation dans les barreaux traversés latéralement, si une portion de la décharge se fait en même

temps en dehors du barreau, s'il y a une étincelle qui saute d'un pôle du conducteur à l'autre pôle. Il n'y a pas aimantation, si le courant traverse en entier le barreau; il pourra l'échauffer, le rougir, le souder à d'autres, suivant l'énergie du courant, mais il n'y aura pas de magnétisme développé.

Les effets extraordinaires de la foudre dans les habitations ne peuvent aussi être ramenés, sans création nouvelle, aux lois de la simple conductibilité.

J'ai souvent insisté sur l'opposition complète qui existe entre les phénomènes d'électricité statique et ceux d'électricité dynamique, et je pense que le Mémoire que j'ai publié en 1838 a beaucoup contribué à faire disparaître la confusion qui régnait dans cette partie de la science. Lorsqu'un conducteur est suffisant pour donner un libre passage à une décharge électrique, il n'y a que des effets dynamiques qui se manifestent par une élévation de température, par une vaporisation des liquides, si les conducteurs en contiennent, par des actions chimiques, par la direction de l'aiguille aimantée, etc.; mais il n'y a aucune des attractions ni des répulsions qui appartiennent à l'électricité statique. Lorsque le conducteur est insuffisant, les deux ordres de phénomènes existent simultanément: les phénomènes dynamiques sont produits par la portion qui s'écoule à travers le conducteur; les phénomènes statiques, par la portion arrêtée par son insuffisance.

La plus grande partie des matériaux qui entrent dans la construction des bâtiments, sont dans la classe des plus mauvais conducteurs; lorsque la foudre atteint un monument, il y a toujours, en raison de cette faible conduction, des actions puissantes d'électricité statique. Non-seulement les matériaux des bâtiments sont de mauvais conducteurs, mais leur arrangement particulier, nécessité par les habitations, en fait encore des conducteurs excessivement inégaux. L'ensemble est formé d'alternatives de pleins et de vides par les murs, les cloisons, les planchers d'une part; et par les croisées, les portes, les cham-

bres, etc., de l'autre. Puis à ces nombreuses inégalités viennent se joindre des liens en fer, disséminés en tous sens pour en consolider les parties. Ces portions de bons conducteurs, qui prennent naissance et se terminent dans différents points du bâtiment, y occasionnent un grand nombre de phénomènes statiques locaux, par l'accumulation, à leurs extrémités, de l'électricité arrêtée par l'inconductibilité des matériaux à la suite. C'est dans ces points d'arrêt des courants, c'est entre les portions de plancher et de mur, qui reçoivent ces surcharges électriques, que se produisent les puissants effets d'attraction qui arrachent les parquets, les plinthes ou les meubles rapprochés d'un sol humide et conducteur. C'est alors que l'eau des vases ou du sol s'évapore et ajoute son appoint conducteur à toutes les conductions voisines ; c'est alors que les objets légers sont soulevés et forment la danse électrique entre les tensions opposées des planchers. La vapeur qui s'élève alors n'est point le produit d'une *vaporisation* de haute température, comme dans le premier cas ; c'est l'*évaporation* de la surface humide augmentée par l'attraction prodigieuse qui agit sur elle. Lorsqu'on voit ainsi s'élever une vapeur du sol ou des vases pleins d'eau, on peut affirmer que c'est l'électricité positive qui rayonne de bas en haut, et que la masse électrique qui constitue la foudre est négative. Mes expériences ont prouvé que la formation de la vapeur est bien plus considérable à la surface du vase positif qu'à la surface du vase négatif ; ce qui concorde, du reste, avec ce que l'on connaît du transport matériel plus facile du pôle positif au pôle négatif.

Je ne dois pas prolonger davantage ces explications, mais je reviendrai sur ce sujet dans un travail spécial, avec tous les détails nécessaires à son élucidation.

SUR LES PROGRÈS ET SUR L'ÉTAT ACTUEL DE LA GALVANOGRAPHIE, par Fr. de KOBELL. (Traduit du *Kunstblatt* du 22 octobre 1844. Extrait des Rapports faits par l'auteur à l'Académie royale de Munich.)

La galvanographie a reçu, dans ces derniers temps, des perfectionnements remarquables; elle a fourni des produits qui ont surpassé ce que les premiers essais avaient fait espérer, et qui ont mis en évidence la diversité des applications auxquelles elle peut se prêter. En effet, quatre années se sont à peine écoulées depuis que la première plaque galvanographique a fourni ses empreintes [1], et déjà l'on trouve, dans le commerce, des galvanographies dont quelques-unes ont de très-grandes dimensions, qui se rapportent à tous les sujets auxquels peut s'appliquer un art graphique, et qui présentent l'exécution la plus délicate. Une circonstance très-favorable à l'extension de cet art, c'est qu'il peut s'associer à toutes les méthodes connues de la gravure au burin ou à l'eau forte, à l'aqua-tinta, au travail à la roulette, etc., et que ce qui ne peut s'exécuter sans peine dans ces divers arts, présente assez souvent au contraire, dans celui-ci, des avantages et des facilités particulières.

Je vais rapporter, mais sans détails, les diverses expériences que j'ai faites moi-même sur cet objet, ou que j'ai eu l'occasion de faire à l'aide d'autres travaux; elles contribueront un peu, j'espère, à répandre de plus en plus l'art galvanographique.

[1] J'en ai joint une épreuve à mon Mémoire sur ce sujet dans le volume 20 du journal d'Erdmann.

Tandis que, par le procédé ordinaire de la gravure, la figure s'exécute en creux dans une plaque de cuivre, par les procédés connus, c'est précisément l'inverse qui a lieu dans la galvanographie, c'est-à-dire que l'on met la plaque de cuivre et qu'on la travaille par-dessus l'image, après quoi la plaque peut servir à donner des épreuves. A cet effet, il faut dessiner l'image ou la peindre au lavis (d'une seule couleur) sur une plaque de cuivre argentée. On a reconnu que les couleurs à l'encaustique (préparées avec une dissolution de cire dans de l'huile de térébenthine ou de baume copaï) présentent pour cet emploi des avantages particuliers, parce qu'elles sont mates après la dessiccation, c'est-à-dire qu'elles ont un certain grené, qui est une condition fondamentale pour la fixité de la couleur, et par conséquent pour la réussite de l'empreinte, dans les cas où la peinture est faite au pinceau large et non pas au trait. Le plus souvent, dans la confection de ces épreuves, les commençants ont le défaut de ne pas laisser sécher suffisamment l'image; alors la plaque est manquée, par la raison que la substance dont on s'est servi pour faire la peinture, se condense quand elle vient en contact avec le sulfate de cuivre, ce qui permet au cuivre de s'insinuer sous la couche de couleur, et produit ainsi une plaque qui ne présente que les traces d'une image, ou une image qui a l'air d'être à moitié effacée. On peut hâter la dessiccation en chauffant doucement.

Il y a une autre couleur qui offre aussi une grande solidité : elle est composée avec de la craie lithographique (de l'espèce la plus dure), pulvérisée et délayée dans de l'eau distillée. Cette couleur, qui sèche très-rapidement, est plus facile à manier qu'une couleur à l'huile. Insoluble dans la dissolution de sulfate de cuivre, elle ne laisse pas le cuivre s'étendre par-dessous. On peut, pour commencer, donner à la plaque un très-léger ton de couleur à l'encaustique, puis on y porte la couleur lithographique avec un pinceau fin et en traits pas trop déliés. La peinture en est très-facile, et l'on peut obtenir ainsi des

portraits d'une très-belle exécution; tels sont ceux que MM. Rottmann jeune et P. Wronski ont peints et galvanographiés[1]. Après l'opération, l'on peut ajouter à l'eau forte des détails sur la plaque. On peut aussi se servir de la craie lithographique sous forme de crayon à dessiner, pourvu qu'on ait soin de donner auparavant le grené à la plaque, car on ne peut dessiner avec un crayon de cette espèce sur une plaque de métal unie. Ce grené s'obtient en fondant sur la plaque ce qu'on appelle un grain d'aqua-tinta, après quoi on dessine par-dessus avec la craie. On produit aisément les clairs en enlevant le grené. Des dessins de ce genre ont beaucoup de moelleux; cependant le grené à la roulette, dont je parlerai plus loin, est bien supérieur.

On peut donner un semblable grené en faisant usage de l'eau-forte, comme dans l'aqua-tinta, au lieu de la résine; on prend ensuite par voie galvanique l'empreinte en relief de la plaque, et il suffit de donner à ce relief une très-faible épaisseur, ce qui permet de l'obtenir en 24 heures pour de petites plaques. C'est sur ce relief ainsi grené, et qui a été ensuite argenté, qu'on dessine ou qu'on peint. Dans les paysages, l'air et autres détails pouvant se produire aisément au moyen de deux teintes à l'aqua-tinta, il y a de l'avantage à les faire par ce procédé, et à graver légèrement les contours; on achève ensuite de peindre l'image sur le relief. C'est d'après cette méthode qu'ont été faites, par Mr. Rottmann jeune, quatre vues assez grandes de Munich, qu'on peut trouver dans la maison Cotta pour le compte de laquelle elles avaient été exécutées.

Un grené qui a un prix particulier pour certains objets, c'est celui qu'on peut obtenir avec les fines roulettes de Paris. On grave d'abord légèrement le contour de l'objet, puis on laisse

[1] On peut, au lieu de noir de fumée, mélanger avec la craie du rouge de fer, ou du brun de Kassler, ce qui donne encore plus de grené à la couleur.

de côté le fond à l'eau forte, et on donne sur toute l'image un ton léger avec la roulette. Pour faire cette opération d'une manière bien égale, on fixe la roulette dans un tire-lignes [1]. Les ombres peuvent se faire aussi avec des tons plus forts. Ensuite on fait des épreuves pour examiner le ton, on prend le relief galvanique de la plaque, et on achève l'image à l'aide de la craie lithographique ou avec le pinceau, puis on exécute la plaque destinée à l'impression par-dessus. Il est aisé, avec une aiguille de graveur, avec la pointe d'une plume, etc., d'enlever quelques points trop sombres de la craie ou de la couleur, ou de faire d'autres corrections à cette image. Des plaques semblables fournissent des empreintes dont l'effet présente une agréable réunion de l'aqua-tinta et de la roulette.

Quand la plaque galvanographique est achevée, quelle qu'en soit d'ailleurs la nature, il y a de l'avantage à y passer la roulette ; si cette opération est faite avec soin, l'image n'en souffre nullement, elle gagne, au contraire, en harmonie et en grené.

Tous les détails qui précèdent concernent la manière d'exécuter le dessin dont on doit prendre l'empreinte en creux par voie galvanique, afin de pouvoir la multiplier ensuite par l'impression. Quant à ce qui concerne le dépôt du cuivre, je n'ai rien trouvé d'essentiel à changer dans l'appareil ni dans le liquide à décomposer, tels que je les ai décrits dans ma *Galvanographie* [2]. J'attirerai cependant l'attention sur quelques circonstances auxquelles il faut avoir égard, si l'on veut que les plaques acquièrent la plus grande perfection possible. Une chose de première importance, à cet effet, c'est que la plaque obtenue par voie galvanique puisse se séparer aisément et sans accident de l'objet sur lequel l'image est peinte, ou dont on veut

[1] On peut aussi employer la roulette pour le fond de la gravure, et donner le ton à l'eau-forte.

[2] Munich, chez Cotta, 1842.

prendre le relief. Cela dépend en grande partie de la force du courant galvanique, et j'ai trouvé que le courant dont la force va en s'accroissant insensiblement, est celui qui fournit les meilleurs résultats. Or, au moyen de l'appareil à diaphragme, tel que je l'ai décrit dans mon ouvrage, il est très-facile d'obtenir avec certitude un courant semblable, et l'on n'a rien autre à faire qu'à verser dès l'abord, dans l'appareil, uniquement de l'eau de source pure ordinaire, au lieu d'acides ou de dissolutions salines étendues. La décomposition du sulfate de cuivre commence alors avec une extrême lenteur, et acquiert de plus en plus d'importance à mesure qu'il se forme du sulfate de zinc dans l'appareil, et que la force du courant devient par là plus considérable. Lorsque le support sur lequel repose la plaque est lui-même recouvert de cuivre, ce qui a lieu au bout de 24 heures, on peut accélérer la formation du dépôt de cuivre au moyen de l'acide sulfurique étendu indiqué.

Quand la dissolution de sulfate de cuivre a été suffisamment saturée, les plaques de cuivre préparées d'après cette méthode peuvent se détacher du support de la manière la plus complète et la plus aisée; ce support doit, au reste, être argenté selon le procédé qui est indiqué dans mon écrit, et dont l'exécution est très-facile. Cette observation a aussi de l'importance pour ceux qui veulent, par exemple, copier par voie galvanique des plaques gravées au burin.

Le parchemin est la substance la plus convenable pour les diaphragmes, et il faut avoir soin de ne plonger l'appareil dans le sulfate de cuivre qu'autant qu'il faut pour que le parchemin touche le liquide. S'il arrivait que le zinc placé dans l'appareil fût sec au bout de 24 heures, cela indiquerait que le parchemin est trop mince, ou qu'il s'y est formé de petits trous par lesquels a passé le liquide dans lequel plongeait le zinc ; on peut boucher ces trous avec du vernis, sans mettre l'appareil hors d'usage. Dans mes dernières expériences je me suis servi, au lieu de zinc laminé, de plaques fondues de même métal;

elles durent davantage, coûtent moins, et sont plus faciles à nettoyer. — Une dissolution de sulfate de cuivre, mélangée avec un tiers en volume de dissolution de sel de Glauber, doit être préférée à cette même dissolution mélangée avec une dissolution de sulfate de zinc, car ce dernier sulfate se mélange également peu à peu avec celui de cuivre. Quand, après un long usage, la dissolution ne dissout plus les cristaux de sulfate de cuivre, et prend une couleur bleu-clair prononcée, c'est un signe qu'elle renferme une trop forte proportion de sulfate de zinc, et qu'elle ne peut plus servir à produire des plaques de cuivre galvaniques.

Quant à l'argenture des plaques sur lesquelles on peint, il faut, lorsque cette opération est faite, et qu'on a bien nettoyé les plaques avec une peau et de la chaux, les tenir encore pendant environ 12 heures dans une dissolution de sulfate de cuivre, puis les sécher promptement avec du papier joseph et des linges. On évite ainsi cette teinte jaunâtre dont, sans cela, les plaques se recouvrent souvent.

Pour ce qui est des derniers produits que la galvanographie a fournis au commerce, et qui démontrent les nombreuses modifications que cet art a subies, je mentionnerai tout d'abord, outre ceux dont j'ai parlé plus haut, les produits aussi habilement qu'heureusement exécutés, de MM. Schœninger et Freymann de Munich. Ce sont entre autres : un *Ecce homo*, d'après un tableau original qui fait partie de la collection de Mr. le chanoine Speth de Munich ; le *Fumeur*, d'après un tableau de Ochterveld ; un *Christ sur la croix*, d'après le Tintoret (de très-grandes dimensions) ; la *Sainte Catherine*, d'après Raphaël. Ces mêmes artistes ont exécuté récemment une *Madonna della Sedia*, et ils travaillent actuellement au portrait de la princesse Hildegarde.

Parmi les galvanographies étrangères dont j'ai connaissance, je citerai comme dignes d'une attention particulière celles qui sont sorties du laboratoire de MM. Theyer et Waidele à Vienne.

Elles sont presque toutes faites seulement par la peinture de images au lavis, ainsi qu'on peut le reconnaître aux empreintes. Ce procédé est assurément le côté le plus original de la galvanographie, et présente des avantages particuliers pour les paysages, pour les groupes d'arbres, les animaux, les fleurs, etc. Les pièces les plus remarquables sont : *la Chienne et ses petits*, de A. Wengler, d'après l'original de J.-M. Ranftl ; *Porte latérale de l'église de Saint-Etienne à Vienne*, par Griesser ; un paysage par Jacob Waltmann ; un dessin d'architecture par P. Lang, et *Des fleurs* par un artiste inconnu. Je mentionnerai encore une très-bonne esquisse de cheval, qui est due à l'archiduc Etienne, et qui témoigne honorablement de l'intérêt que ce prince accorde à cet art.

Je rappellerai, en terminant, que les appareils qui sont conformes à la description que j'ai donnée dans mon ouvrage, et qui présentent les dimensions nécessaires pour de petites pièces, sont d'un prix si modique, et que leur emploi, et le procédé pour les argenter et les préparer sont si faciles, que rien de tout cela ne peut constituer des difficultés capables d'arrêter l'extension de l'art galvanographique.

DE LA THERMO-ÉLECTRICITÉ DES MÉTAUX ET DES MINÉRAUX MÉTALLIQUES (minerais), par Mr. le docteur HANKEL. (*Poggend. Annal.*, t. LXII, p. 197.)

Ce qui m'a déterminé à faire les expériences que je vais rapporter, ce sont d'abord les expériences faites par Emmet, et que Dove mentionne dans son Répertoire de physique (tome I, p. 344, etc.); c'est, en outre, le désir de savoir si l'on ne pourrait pas construire une pile active thermo-électrique avec di-

vers métaux, dont tous les points de jonction auraient la même température. Dans ses expériences, Emmet unissait à un morceau de métal chauffé, soit un morceau du même métal ayant une basse température, soit un morceau d'un autre métal également à une basse température.

Quant aux courants qui se développent dans le second cas, Emmet obtenait souvent des courants contraires, selon qu'il chauffait l'un ou l'autre des deux métaux. Voici les cas dans lesquels ce résultat se présentait à lui :

1. Quand l'antimoine était en contact avec l'un quelconque des métaux soumis à l'expérience ;

2. Quand c'était le fer uni au platine[1] ;

3. L'argent uni au zinc ;

4. L'argent uni au fer ;

5. Le cuivre uni au fer.

Or il résulte de mes nombreuses expériences, contrairement à ce qu'a observé Emmet, que l'on ne voit pas se produire des courants contraires quand on chauffe l'un des métaux au lieu de chauffer l'autre. Il est absolument indifférent, par exemple, que l'on unisse du fer chaud avec de l'argent froid, ou de l'argent chaud avec du fer froid, pourvu que dans les deux cas les températures soient les mêmes. C'est en cela précisément qu'Emmet s'est trompé ; il n'a pas tenu compte de la différence de la température, et en a employé une tantôt plus, tantôt moins élevée dans les divers cas qui sont rapportés plus haut.

[1] C'est-à-dire quand il mit en contact du platine chaud avec du fer froid, il trouva le fer chaud positif, et le platine froid négatif. Le platine dont il fit usage doit avoir été cependant placé entre du zinc et du fer, là où se trouve le platine de l'Oural dans le tab'eau qui suit (ou le platine n° 4 dans le mémoire de Seebeck). Le platine seul en contact avec le fer doit faire renverser le courant; mais jamais le platine reposant sur du zinc ne produit cet effet avec le fer, comme on le verra par mes expériences, et par celles de Pouillet, poussées jusqu'à une différence de température de 1000° (de 400° à 800° il n'y eut qu'un affaiblissement dans l'augmentation). *Comptes rendus*, t. III., p. 788.

Or les métaux dont il s'agit donnent un courant dirigé dans un sens ou dans un autre, selon que la température est haute ou basse; Emmet a donc dû obtenir aussi un renversement de courant. Cette interprétation des résultats du physicien anglais se trouve d'ailleurs confirmée en deux endroits par une remarque ajoutée au texte. C'est ainsi qu'à côté de l'expérience désignée par ces mots: Fer chaud avec platine froid, il met: *Chaleur rouge;* et à côté de: Cuivre chaud avec fer, il ajoute: *dans la flamme*, tandis que les expériences inverses sur lesquelles il ne fait aucune observation, ont été faites à des températures moins élevées. Quant à la première expérience faite avec l'antimoine, il a obtenu, quand ce métal était chaud, un courant dans lequel l'antimoine était tantôt positif, tantôt négatif; le courant qu'il croit avoir obtenu le plus fréquemment et de la façon la plus prononcée, était un courant contraire à celui qui avait lieu quand l'antimoine était froid et l'autre métal chaud. L'expérience d'Emmet avec l'antimoine est donc incertaine. Il est vraisemblable que le renversement du courant y a été produit par des impuretés renfermées dans l'antimoine. Pour moi, quand je me suis servi d'antimoine qui avait été purifié par sa fusion avec du salpêtre, je n'ai jamais obtenu un courant dirigé en sens contraire, quel que fût le point du barreau d'antimoine que j'avais choisi.

Depuis que Cumming avait obtenu des courants thermo-électriques avec de la galène (sulfure de plomb) et du graphite, on devait naturellement songer à tenter la même expérience avec les autres minéraux métalliques. Marchand l'a répétée aussi avec deux corps non métalliques, le peroxide de manganèse et le charbon tel qu'on l'obtient par la décomposition de l'hydrogène carboné dans la fabrication du gaz d'éclairage[1]. J'ai suivi dans mes expériences le procédé employé par Seebeck. Afin d'opérer plus commodément, j'ai fait diviser deux plaques de cuivre en un grand nombre de lamelles, que j'ai laissées

[1] Voyez *Journ. für prakt. Chem.*, t. XXIX, p. 495.

réunies par une de leurs extrémités ; puis j'ai mis l'une de ces plaques en communication avec l'un des fils d'un galvanomètre sensible, et la seconde avec l'autre fil. Après cela, j'ai fixé à chaque lamelle, au moyen d'une vis ou d'une pince, une bande ou un fil du métal que je voulais soumettre à l'expérience, en ayant soin que les bandes ou fils appartenant dans les deux plaques à des lames correspondantes fussent parfaitement semblables et homogènes. Quand je n'avais qu'un très-petit morceau (ou un seul cristal) du métal ou du minéral que je voulais étudier, je le mettais par exemple sur une des deux lames de platine (si c'était avec du platine que l'expérience devait se faire), après quoi je pressais sur le minéral l'autre lame de platine qui avait été chauffée. Si le cristal (ou la masse solide) n'était pas isolée, mais adhérente à d'autres minerais, je pressais de la main gauche l'une des lames de platine sur un des points de ce cristal, et avec la droite l'autre lame de platine également, mais chauffée sur un autre point de la surface du cristal. Si je n'obtenais pas de courants énergiques par ce moyen, j'appliquais à froid les deux métaux sur deux points différents du cristal, puis je pressais sur l'une des lames, de manière à l'échauffer, une spatule de platine plus ou moins chaude. L'emploi de cette méthode offre particulièrement de l'avantage quand la lame de métal chaude est très-mince ; comme on ne peut alors la presser fortement sur le cristal, mais qu'on doit placer celui-ci à quelque distance de l'extrémité chauffée, il en résulte qu'il n'y a qu'une faible quantité de chaleur qui soit communiquée. Une circonstance très-importante, c'est que la lame chauffée soit appliquée exactement sur la substance. Afin de ne point avoir de mélange ni de solutions de continuité dans la masse conductrice, j'ai fait usage de cristaux aussi souvent que j'ai pu ; il suffit que ces cristaux aient la grosseur d'une tête d'épingle.

On trouvera dans le tableau suivant, le catalogue des corps que j'ai étudiés ; leur ordre est tel que chacun d'eux est né-

gatif relativement à celui qui le suit, et positif relativement à celui qui le précède. Quand il s'en trouvait un grand nombre compris entre deux métaux, ou même en dehors du bismuth et de l'antimoine, il était impossible de déterminer exactement leurs places respectives. J'ai remédié à cet inconvénient en réunissant par la même accolade les corps qui par exemple sont négatifs à l'égard du bismuth, et en les classant autant que possible d'après la force du courant qu'ils donnaient avec les métaux les plus rapprochés d'eux. Cependant cette méthode est incertaine, parce que la conductibilité électrique et la température du fil chaud qu'on applique ne peuvent pas être toujours exactement les mêmes. La place qu'occupent sous le rapport électrique les corps qui sont renfermés dans la même accolade, est, relativement à ceux qui en sont le plus voisins, parfaitement bien déterminée. Les substances dont le nom n'est accompagné d'aucune observation, sont celles dont le lieu d'origine m'est resté inconnu.

Pyrite de cuivre de Neudorf et du Meiseberg.
Minerai d'argent (Weissgültigerz) de Bræunsdorf.
Tellurure d'argent de l'Altaï.
Tellure natif graphique d'Offenbanya.
Cobalt arsénical (Tesseralkies) de Modum.
Pyrite arsénicale de Freiberg.
Fer arsénical (arsénosidérite) de Reichenstein.
Sulfure d'argent natif.
Plomb sélénié de Tilkerode.
Galène.
Cobalt gris (en octaèdres avec petites faces cubiques, vraisemblablement de Tunaberg).
Tellure feuilleté n° 1 de Nagyag en Transylvanie.
Fer oligiste du Saint-Gotthardt.
Pyrolusite d'Ilmenau.
Pyrite de fer, 2 cubes avec angles tronqués, d'une origine inconnue, et un octaèdre avec petites faces cubiques du Tyrol.
Fer oxidulé magnétique.
Sodium métallique.
Potassium métallique.

Bismuth natif de Suède et de l'Erzgebirge.
Bismuth du commerce.
Tellure natif de Facebay en Transylvanie.
Cobalt arsénical de l'Erzgebirge.
Nickel biarsénical (Weissnickelkies) de Schneeberg.
Nickel poreux, semblable à celui du commerce.
Cobalt adhérent à une scorie de cobalt.
Nickel compacte.
Palladium préparé par Wollaston.
Tellure feuilleté n° 2 de Nagyag, en Transylvanie.
Fer météorique de Krasnojarsk, et un autre petit fragment d'origine inconnue.
Mercure préparé avec du cinabre.
Platine n° 1, deux feuilles.
Or de pharmacien, servant à préparer la teinture d'or, précipité par le sulfate de fer, et fondu avec un peu de borax.
Laiton.
Pyrite sulfureuse (cubes avec angles tronqués) du Piémont.
Nickel arséniqué.
Cuivre n° 2, une feuille.
Amalgame de Moschellandsberg.
Fer météorique du Kamtschatka.
Etain.
Plomb.
Alliage moitié étain, moitié plomb.
Or natif de Transylvanie et de Hongrie.
Argent natif (arborescent) de Freiberg, et (en fil) de Kongsberg.
Or à 14 carats.
Rhodium préparé par Wollaston.
Cuivre n° 1, un fil.
Argent au titre de 0,750 (12 lœthig), une petite cuiller.
Platine n° 2, une spatule.
Iridium, une masse compacte.
Argent antimonié dans de l'arsenic natif d'Andreasberg.
Zinc.
Argent n° 2.
Argent natif de l'Erzgebirge (plaque massive).
Argent n° 1.

Cuivre galvanique (préparé avec l'appareil décrit par de Kobell).
Cuivre natif de Sibérie, de Cornouailles, de Sterzing en Tyrol.
Iridium natif de la lavure d'or de Küschtüm dans l'Oural (gouvernement de Perm).
Graphite.
Nickel gris de Lobenstein.
Métal fusible de Rose.
Platine brut de l'Oural (mine Demidoff).
Osmium-iridium de l'Oural.
Cadmium.
Fer.
Pyrite magnétique de Bodenmais, en Bavière.
Sulfure de cuivre de Redruth dans le Cornouailles.
Arsenic natif d'Andreasberg.
Arsenic natif (Kobaltwismuth) de Schneeberg.
Antimoine.
Antimoine natif d'Allemont en Dauphiné.
Cuivre sulfuré bismuthifère de Willichen, dans la Forêt-Noire.
Sulfure de cuivre de l'Oural.
Cuivre panaché, cristallisé, de Redruth en Cornouailles.
Pyrite de fer grise, en cristaux.
Cobalt gris (en cubes), de Tunaberg.
Pyrite sulfureuse de l'île d'Elbe et du Piémont (mine de Traversella), dodécaèdres pentagones modifiés.

On peut bien conclure du tableau ci-dessus que, en dehors de la famille des métaux, les galènes et les pyrites donnent toutes des courants thermo-électriques ; il faut encore ajouter à ces substances le graphite et quelques oxides métalliques. Jusqu'à présent je n'ai point pu obtenir de courant avec les blendes, quoique avec l'argent antimonié sulfuré je sois une fois parvenu à chauffer tellement la lame métallique appliquée sur le cristal, que celui-ci commençait à se fondre ; je n'ai pas non plus obtenu de courant avec le zinc sulfuré.

Si on compare entre eux, sous le double rapport de leur

place dans la série thermo-électrique, et de leur composition chimique, les corps mentionnés dans le tableau ci-dessus, on remarque bientôt qu'il n'y a que peu de cas dans lesquels la seconde de ces deux circonstances soit liée à la première, sauf par exemple pour le fer météorique et le nickel arséniqué. En général ce sont les propriétés physiques qui déterminent la place des corps dans la série; et en ce qui concerne les cas auxquels je viens de faire allusion, si les propriétés chimiques paraissent y jouer quelque rôle, ce pourrait bien être en vertu d'une espèce de parallélisme qui existe entre elles et les propriétés physiques. Ainsi la forme des cristaux a une grande influence, un octaèdre de cobalt gris occupe une place supérieure à celle qu'occupe le bismuth, un cube du même minéral est au-dessous de l'antimoine; les cristaux divers du bisulfure de fer occupent des places très-diverses; les cubes et les octaèdres de la pyrite sulfureuse ont une place passablement élevée dans la série, tandis que celle des cristaux hémièdres en particulier de cette même substance et des cristaux prismatiques de la pyrite de fer grise est très-basse. La composition chimique ne peut rendre compte de la place de l'alliage fusible de Rose, non plus que faire comprendre pourquoi une partie des composés sulfureux se trouvent placés avant le bismuth, et les autres au-dessous de l'antimoine ou du fer.

En cherchant dans les corps que renferme le tableau ci-dessus, les propriétés qui leur sont communes à tous, on trouve que, après la forme cristalline, c'est l'éclat métallique parfait et l'absence de transparence; ces propriétés paraissent donc avoir une liaison intime avec les circonstances nécessaires à la production des courants thermo-électriques.

Une chose curieuse, c'est que le cuivre natif qu'on trouve dans la nature se comporte exactement de la même manière que celui qu'on prépare au moyen de l'électricité, ou qu'on précipite à l'aide du fer ou du zinc. Tandis que les cristaux de

fer oligiste du Saint-Gotthardt ont donné de forts courants électriques, il m'a été jusqu'à présent impossible d'en obtenir avec les cristaux de l'île d'Elbe, qui diffèrent aussi un peu, il est vrai, des premiers par la forme et l'éclat (ceux du Saint-Gotthard étaient des tables minces à six côtés). Je n'ai de même point obtenu de courant avec les dodécaèdres pentagonaux purs de la pyrite sulfureuse ; cependant ceci peut tenir à des circonstances fortuites que présentaient les cristaux employés.

Quand on chauffe fortement les métaux et les minéraux métalliques que leur composition rend capables de supporter une haute température [1], un grand nombre changent de place les uns à l'égard des autres, et ils forment la série suivante à des températures qui vont jusqu'à la chaleur rouge (ou jusque près du point de fusion, si les métaux en question ne peuvent supporter cette dernière température sans se fondre). Je donne de nouveau, en outre, la série telle qu'elle se présente quand les différences de température sont faibles, afin de pouvoir plus aisément apercevoir les changements.

Faible différence de température.	Grande différence de température.
Bismuth.	Bismuth.
Argentane.	Cobalt.
Nickel (compacte ou dense).	Argentane.
Cobalt.	Platine n° 1.
Platine n° 1 (feuille).	Nickel compacte.
Or.	Nickel arséniqué.
Laiton.	Laiton.
Nichel arséniqué.	Or.
Cuivre n° 2.	Etain.
Etain.	Plomb.
Plomb.	Cuivre n° 2.

[1] Il faut que le morceau dont on veut se servir ait naturellement aussi la longueur nécessaire; l'absence de cette condition a fait, dans un grand nombre de cas, manquer les expériences.

Faible différence de température.	Grande différence de température.
Cuivre n° 1 (en fil).	Platine n° 2.
Argent au titre de 0,750.	Argent au titre de 0,750.
Platine n° 2 (spatule).	Fer.
Zinc.	Cuivre n° 1.
Argent n° 2.	Argent n° 2[1].
Argent n° 1.	Cuivre galvanique.
Cuivre galvanique.	Argent n° 1.
Cadmium.	Zinc[1].
Fer.	Cadmium.
Antimoine.	Antimoine.
Positif.	

Les expériences qui précèdent permettent d'établir cette loi précise : Lorsque le sens du courant est changé entre deux métaux placés dans la série à une certaine distance l'un de l'autre, le même changement a également lieu pour tous ceux qui sont compris entre les deux premiers, soit avec l'un soit avec l'autre. — Si, par exemple, le courant change de sens entre le fer et le cuivre n° 1, il changera aussi entre le cuivre et l'argent au titre de 0,750 et le platine n° 2, et entre le fer et le zinc, l'argent n° 2, l'argent n° 1, le cuivre galvanique et le cadmium; ces sept métaux sont tous placés dans la série entre le cuivre n° 1 et le fer. Les cinq derniers donnent un courant en sens contraire avec le fer ; les deux premiers avec le cuivre n° 1. Il résulte de là, en même temps, qu'il ne peut se produire de courant thermo-électrique quand tous les points de jonction entre les différents métaux ont la même température, parce que, lorsqu'ils en ont une différente, on tombe nécessairement dans la loi suivante, savoir que : Le courant produit par deux métaux qui ne se suivent pas immédiatement dans la série, est

[1] Avec l'argent et le zinc il suffit d'une faible chaleur pour renverser le courant.

égal à la somme de tous les courants intermédiaires. J'espère pouvoir bientôt démontrer cette loi d'une manière plus rigoureuse, quand j'aurai terminé les expériences que j'avais commencées en 1842, et qu'une longue maladie m'a fait interrompre. Je donnerai en même temps des détails plus exacts sur les modifications que subissent les tableaux que j'ai rapportés ci-dessus, quand on accroît les différences de température de cent en cent degrés. Ainsi le premier des tableaux ci-dessus est exact pour des différences de température de 100°; mais le seul changement que subisse l'ordre des substances pour les cent degrés suivants, c'est que le zinc passe au-dessous de l'argent; il faut de plus grandes différences de température pour faire, en outre, renverser le sens des courants dans l'union des autres métaux entre eux.

DE LA POLARISATION VOLTAÏQUE DU FER, par W. BEETZ. (*Poggend. Annal.*, t. LXIII, p. 415 [1]).

Le fer diffère d'une manière remarquable des autres métaux, par l'état anomal dont il est susceptible, et auquel on a donné le nom de passivité. Cependant cette propriété ne paraît pas être la seule anomalie que le fer présente sous le rapport voltaïque; en effet, tous les phénomènes prennent dans ce métal un caractère plus compliqué que dans la plupart des autres. J'ai été conduit à faire quelques observations sur ce point, après une série d'observations dans lesquelles j'avais cherché à

[1] Mr. Beetz fait allusion, dans ses recherches, à une note de Mr. Martens, dans laquelle ce physicien persiste, sans pourtant apporter de nouveaux faits à l'appui de son opinion, à croire que l'état passif du fer n'est pas dû à une oxidation de la surface de ce métal.

déterminer la nature de la couleur bleue qu'affecte le fer soumis à une forte chaleur [1]. Voici l'opinion que j'avais cru pouvoir établir comme résultat de mes expériences, c'est que: la coloration en bleu est toujours due à une oxidation, puisqu'un fil de fer soumis à une haute température, dans un liquide ou dans une atmosphère d'hydrogène pur, ne présente aucun changement de couleur à la surface [2].

Comme la couleur bleue est due à une couche mince qui recouvre la surface du fer, quelle que soit d'ailleurs la nature chimique de cette couche, et que, de même que Mr. Martens, j'avais vu d'abord ce phénomène se produire sur un fil de fer chauffé dans de l'hydrogène, je crus devoir l'attribuer à une condensation d'hydrogène à la surface du métal. Si la supposition avait été exacte, il aurait dû y avoir, sous le rapport voltaïque, une différence entre un fil bleui à l'air libre et un fil bleui dans de l'hydrogène. En effet, le premier aurait dû être

[1] Voyez *Archives de l'Électricité*, t. IV (année 1844), p. 509.

[2] D'après les expériences qu'il a faites avec Mr. Ryke, Mr. Martens ne croit cependant pas pouvoir partager cette opinion, mais il pense que le changement de couleur est uniquement dû à l'élévation de la température. J'avais cru ne pouvoir pas combattre cette assertion d'une manière plus simple qu'en rapportant le fait, qu'il ne se manifeste point de couleur bleue quand le fer est chauffé, même jusqu'au rouge, dans de l'hydrogène parfaitement pur; et je croyais en outre avoir démontré que, lorsqu'on a un fort courant de gaz continu, si on ajoute de l'acide sulfurique dans l'appareil de dégagement, ce fait, ainsi que beaucoup d'autres circonstances, rend très-facile, et même inévitable l'accès de l'oxigène. Enfin j'avais dit expressément, dans mon Mémoire, que, même dans du zinc à l'état de fusion ardente, un fil de fer ne prend pas la couleur bleue, ce qui répondait déjà à l'objection de Mr. Martens, d'après laquelle le fer plongé dans du métal en fusion « est bien éloigné d'atteindre la température de la chaleur ardente. » Cependant il est très-invraisemblable que « le contact d'un autre métal détruise l'effet de la chaleur, » et que ce soit pour cela qu'il ne se manifeste pas de couleur bleue sur du métal en fusion. Si toutefois ces faits ne suffisent pas pour convaincre Mr. Martens, les observations qui vont suivre contribueront peut-être à faire voir les différences qui existent entre un fil de fer bleui et celui qui a été chauffé sans prendre la couleur bleue.

négatif et le second positif, à l'égard d'un fil poli, si du moins les mêmes lois qui régissent la polarisation voltaïque se reproduisaient dans les modifications de la surface des corps. Mais la manière dont un fil de fer bleui se comporte à l'égard d'un fil de fer poli, qui forme avec lui un couple hydro-électrique, est plus compliquée que je ne m'y attendais. Un fil de fer qui avait été chauffé dans de l'hydrogène parfaitement pur, et qui par conséquent n'avait pas bleui, fut positif à l'égard d'un fil poli ; mais il était négatif à l'égard de ce même fil, dès qu'il présentait la plus légère trace de couleur bleue. Si, dans le dernier cas, le liquide conducteur était une solution saline neutre ou une solution alcaline, le courant allait en s'affaiblissant lentement, et l'aiguille du galvanomètre retournait à zéro. Mais si le liquide conducteur était un acide étendu, le fil bleui cessait promptement d'être négatif, et le courant prenait une direction opposée, d'autant plus rapidement que la pellicule d'oxide qui recouvrait le fer était moins épaisse. Il semble, au premier abord, qu'on doive attribuer ce phénomène à une polarisation qui a lieu par suite du courant développé entre les deux fils, ou que l'action chimique, qui attaque certainement les deux fils à un degré différent, devrait produire rapidement une condensation de gaz différente. Cependant, indépendamment de ce que, tant que le fil bleui conserve sa pellicule d'oxide, le fil qui devrait devenir positif est précisément le fil poli sur lequel se fait le dégagement d'hydrogène le plus abondant et même le seul qui ait lieu, on peut se convaincre, en établissant une différence précise entre les courants primaires et les courants secondaires, qu'on a affaire dans ce cas à l'un des premiers. En effet, si l'on chauffe le liquide conducteur d'un couple secondaire, la force de courant diminue, et cela s'explique parce que, à cette température élevée, le liquide n'est plus en état d'absorber à la surface de l'électrode la même quantité de gaz que précédemment, en sorte que les gaz s'échappent peu à peu. Mais si on chauffe le liquide conducteur d'un couple primaire, on affai-

blit ainsi l'action contraire due à la polarisation, c'est-à-dire qu'on renforce le courant principal. Cet effet ne peut être dû à une modification produite dans la résistance de conductibilité du liquide, puisque dans l'un et l'autre cas cette résistance a nécessairement lieu dans le même sens. L'échauffement doit se faire naturellement, de façon à empêcher autant que possible la formation de courants dans le liquide. A cet effet, j'ai mis le liquide dans un petit verre d'épreuve, placé lui-même dans un autre verre plein d'eau. Quand j'ai voulu chauffer le liquide, j'ai versé de l'acide sulfurique dans l'eau extérieure, en remuant constamment à mesure, de manière qu'on pût supposer que l'échauffement se faisait uniformément en haut et en bas dans toute la masse du liquide, ce qui importait d'autant plus que celui-ci atteignait un niveau bien plus élevé que le liquide intérieur. Dans l'expérience en question, où un fil de fer qui a été bleui est positif à l'égard d'un fil poli, le courant acquiert une force plus grande par l'effet de l'élévation de température de l'acide étendu, par conséquent on ne peut attribuer ce courant à une condensation de gaz. C'est ce que semble aussi confirmer la longue durée du courant, car on voit quelquefois la position de l'aiguille du galvanomètre ne varier que de quelques degrés pendant 36 heures, au bout desquelles la surface du fer paraît fortement attaquée.

Au reste, le fait d'avoir servi de métal actif dans un couple hydro-électrique, n'est pour rien absolument dans le caractère positif du fil bleui. En effet, si l'on plonge pendant quelque temps ce fil dans un acide, ou qu'on enlève la pellicule d'oxide avec du papier d'émeri fin, opération qui n'a pas besoin d'être faite avec une délicatesse extrême, il est tout d'abord positif si on le réunit en couple avec un fil poli. En le tenant dans un lieu sec, on peut le conserver longtemps ainsi sans qu'il perde entièrement cette propriété.—Quelles que soient l'intensité et la durée de la température à laquelle on soumet un fil de fer dans une atmosphère d'hydrogène pur, il ne devient pas du tout

négatif à l'égard d'un fil poli; il se distingue donc aussi par là d'un fil bleui; tandis qu'un fil qui a été bleui dans une atmosphère d'hydrogène mélangée à de l'air ordinaire est aussi bien négatif à l'égard d'un fil poli, qu'il le serait s'il avait été chauffé à l'air libre. Il faut donc admettre que l'action de la chaleur produit dans le fil de fer une modification qui le rendrait positif à l'égard d'un fil poli, si une pellicule d'oxide qui le recouvre n'exerçait une action opposée. Si on enlève cette pellicule avec un dissolvant ou par voie mécanique, le fil de fer conserve le caractère positif qu'il avait acquis, et qui réside dans toute son épaisseur, et non plus seulement à son extrême surface. — Si on a chauffé le fil dans de l'hydrogène pur, il devient, comme nous l'avons vu, non pas négatif, mais positif, à l'égard d'un fil poli. Le passage à cet état est facilité encore, cependant, par le concours d'un autre agent, car le cuivre et le platine, qui ne présentent pas le phénomène que j'ai décrit plus haut, deviennent également positifs quand on les chauffe dans l'hydrogène, mais à un degré plus faible que le fer. Cela est dû peut-être à une condensation de l'hydrogène, qui produirait alors le même effet que les gaz dégagés sur les électrodes par l'électrolysation [1]. Si l'on veut examiner sous le rapport voltaïque un fil de fer qui a été chauffé dans un bain de métal en fusion, il faut prendre un métal qui soit négatif à l'égard du fer, sans quoi on ne peut pas être sûr que l'état positif qui se manifeste ne doive pas être attribué à des particules métalliques adhérentes. Le métal le plus convenable dans ce but est le bismuth, dont la force électromotrice à l'égard du fer est peu considérable, et qui, même dans le cas où il en resterait quelques traces adhérentes au fer, n'altérerait pas sensiblement l'effet réel. Les fils de fer qu'on fait chauffer dans le bismuth en fu-

[1] Ce n'est pas autre chose que l'effet de la réduction de la légère pellicule d'oxide qui recouvre toujours ces métaux quand ils ont été exposés à l'air. (R.)

sion ne changent pas de couleur quand l'immersion a lieu très-rapidement. Si l'on néglige cette précaution, la partie du fer enveloppée dans la couche d'air chaud qui est en contact avec le bismuth, prend déjà la couleur bleue pendant l'immersion. Combiné voltaïquement avec un fil poli, le fil échauffé et ensuite refroidi dans le bismuth a présenté aussitôt le caractère positif, à moins que des traces de bismuth ne fussent restées adhérentes à sa surface, ce qui pourtant arrive rarement. On peut se mettre complétement à l'abri de cet accident en frottant le fil avec du papier d'émeri ; on obtient alors toujours un courant passablement fort, avec lequel le fil chauffé est positif.

Il en est exactement de même pour un fil de fer dans lequel on a développé l'état passif en le plongeant dans de l'acide nitrique concentré. C'est très-difficile de faire des expériences avec des fils passifs, quand on veut les plonger dans le même liquide avec des fils actifs. Si l'on transporte immédiatement le fil passif de l'acide nitrique concentré dans le liquide conducteur, il emporte toujours avec lui une grande quantité d'acide, ce qui n'est pas le cas pour l'autre fil, et cette circonstance rend très-incertaine l'appréciation du courant qui se forme; il faudrait alors pouvoir se procurer un fil passif dépouillé de toute substance adhérente, et je n'y ai jamais réussi. J'ai déjà dit, dans le Mémoire cité plus haut, qu'un fil de fer ne devient jamais passif dans une atmosphère d'hydrogène pur, mais qu'il n'y a que le fil bleui qui, grâce à la pellicule d'oxide dont il est entouré, ne puisse être attaqué immédiatement par l'acide nitrique. Si on enlève cette enveloppe en frottant légèrement le fil, celui-ci est toujours actif, du moins d'après mes expériences [1].

Quand le fil avait été rendu passif au moyen d'acide nitrique concentré, je n'ai jamais réussi non plus, en le lavant avec de

[1] Mr. Martens dit bien qu'un frottement léger, et de peu de durée, n'enlève pas *entièrement* la passivité du fil; cependant on ne peut pas considérer comme passif un fil qui est *un peu* actif, ni s'en servir comme d'un fil passif dans des expériences.

l'eau ou en l'essuyant et le frottant légèrement, à le nettoyer sans détruire sa passivité. Ce qui réussissait le mieux, c'était, immédiatement après l'avoir retiré de l'acide nitrique, de le plonger dans de l'éther concentré, de l'y agiter, et de le plonger ensuite dans un autre bain d'éther, et de l'en retirer après l'avoir agité comme dans le premier. L'éther qui restait adhérent s'évaporait promptement à l'air. Cependant ce procédé ne réussit pas non plus toujours, et peut ainsi conduire aisément à des résultats contradictoires. Il ne restait donc pas d'autre moyen que d'employer, comme liquide conducteur, de l'acide nitrique d'un degré de concentration suffisant pour conserver la passivité d'un fil de fer passif qu'on y plongeait, mais non tel qu'il pût rendre passif un fil de fer actif. Quand les deux fils y étaient introduits, le fil passif était toujours fortement négatif; mais le courant perdait rapidement de sa force, et passait ordinairement par degrés insensibles à l'état opposé. Dans ce cas aussi le fil de fer qui a été passif se présente dès l'abord avec le caractère positif; car si on le lave bien, immédiatement en le retirant de l'acide nitrique, qu'on l'essuie avec du papier joseph, et qu'on s'en serve pour former, avec un autre fil récemment poli, un couple hydro-électrique, ayant de l'acide sulfurique étendu pour liquide conducteur, il est aussitôt fortement positif. Le courant, dans ce cas, augmente aussi d'intensité quand on chauffe le liquide conducteur.

Une troisième propriété singulière du fer, c'est l'anomalie qu'il présente dans sa polarisation voltaïque. Si l'on plonge dans de l'acide sulfurique étendu deux fils de fer récemment décapés, et qui servent d'électrodes à un couple zinc et platine, et qu'on n'entretienne le courant que pendant un intervalle de temps très-court (une seconde environ), les fils présentent une polarisation normale, c'est-à-dire que celui qui a communiqué avec le zinc est positif, et l'autre négatif. On ne peut répéter cette expérience qu'un petit nombre de fois, car si on veut continuer à fermer le circuit un grand nombre de fois, la po-

larisation devient anomale, c'est-à-dire que le fil sur lequel l'hydrogène se dégage, devient négatif, et l'autre positif. On peut répéter cette expérience aussi souvent qu'on veut, et toujours le résultat en est le même; cependant il ne faut pas laisser trop longtemps fermé le couple *secondaire*, sans quoi l'un et l'autre fil se recouvrent déjà de la pellicule d'oxide, l'un par l'influence du courant primaire, l'autre par l'influence du courant secondaire; et alors ce ne serait pas des électrodes de fer qu'on polariserait, mais des électrodes de fer oxidé, qui présenteraient de nouveau ùn caractère normal. Mais si on laisse le couple primaire longtemps fermé, on voit se produire le phénomène connu, savoir que l'électrode positif devient passif. On le reconnaît à ce que l'électrode positif prend un brillant métallique parfait, et devient si négatif qu'il se développe un autre courant dans un sens opposé au courant primaire, ce qui arrête le dégagement d'hydrogène sur l'éléctrode négatif, ainsi que Mr. Schœnbein en a déjà fait la remarque. Si, après cela, on ferme le circuit secondaire, le fil qui est devenu passif passe à l'état négatif; mais le courant ne conserve pas longtemps cette direction; il prend brusquement la direction opposée, et d'autant plus promptement que le courant primaire est resté moins longtemps fermé. Le changement dans la direction du courant n'est pas non plus ici une conséquence du courant secondaire, car il suffit de détruire la passivité du fil, pour voir ce fil devenir aussitôt positif. En effet, quand l'électrode positif est devenu passif, qu'on éloigne ensuite le liquide conducteur, qu'on met les électrodes en relation avec le galvanomètre, et qu'on les plonge de nouveau dans le liquide, l'électrode qui a été passif devient à l'instant même positif. La même chose a lieu quand, avant de fermer le circuit secondaire au moyen du galvanomètre, on rétablit le circuit d'une autre manière, parce qu'alors la passivité disparaît par l'effet du courant secondaire. Au reste, l'état négatif du fer se manifeste déjà un peu avant que l'électrode positif devienne brillant, et que le gaz cesse de se dégager sur l'électrode négatif.

Il y a naturellement aussi un état dans lequel le galvanomètre n'accuse point de courant quand on ferme le circuit secondaire : c'est précisément lorsque l'électrode positif devient négatif. Encore ici, dans une solution neutre ou alcaline on n'aperçoit absolument rien de ce phénomène normal, et cela tient vraisemblablement à la même cause que ci-dessus. En effet, si le liquide conducteur est acide, la pellicule d'oxide est dissoute aussitôt qu'elle se forme, en sorte que l'état positif de l'électrode peut se manifester. Si, au contraire, le liquide est neutre ou alcalin, la pellicule persiste, et l'électrode devient alors négatif, par conséquent normal. Malgré cette anomalie, la force du courant s'accroît si on chauffe le liquide.

Nous pouvons résumer comme suit les résultats des expériences que j'ai décrites :

1° Un fil de fer qui a été oxidé par l'action de la chaleur devient positif à l'égard d'un fil de fer ordinaire, quand on enlève la pellicule d'oxide en plongeant le fil dans un acide, ou en le frottant avec du papier d'émeri.

2° Un fil de fer qui a été chauffé dans du métal en fusion ou dans une atmosphère dépouillée d'oxigène, est positif à l'égard d'un fil de fer poli.

3° Un fil de fer qui a été rendu passif dans de l'acide nitrique, devient positif à l'égard d'un fil de fer ordinaire, quand on détruit sa passivité par le frottement ou le lavage.

4° Un fil de fer qui a servi d'électrode positif, mais que l'on n'a pas laissé assez longtemps dans le courant pour qu'il y devînt passif, ou dont on a détruit la passivité naissante, devient positif à l'égard d'un fil de fer ordinaire.

Ainsi, quand on soumet le fer à certains modes de traitement, tels que l'emploi d'une forte chaleur, le rôle d'électrode positif, le passage à l'état passif, il acquiert la propriété d'être positif à l'égard d'un fil de fer décapé avec lequel on le réunit pour former un couple hydro-électrique, si on a soin d'éloigner les causes accidentelles, telles que l'oxidation, la passi-

vité, qui pourraient le rendre négatif à la surface. Toutes ces circonstances ont ceci de commun, c'est que le fer qui est exposé à leur influence se recouvre à sa surface d'une couche négative.

Le nickel se rapproche beaucoup du fer sous le rapport voltaïque. Il devient également négatif quand il bleuit à l'air. Si l'on forme un couple avec un fil de nickel bleui et un fil de nickel décapé, le courant revient à zéro dans un liquide acide, et ordinairement il prend aussi un peu la direction opposée. Mais si l'on chauffe le liquide conducteur, l'anomalie devient plus intense, comme pour le fer.

La polarisation du nickel est tout à fait normale; mais elle cesse également de l'être, si on chauffe le liquide conducteur. La nécessité de l'action de la chaleur pour que les phénomènes dont nous venons de parler se produisent dans le nickel, tient peut-être à ce que l'oxide de ce métal est difficile à dissoudre.

Observations du Rédacteur.

Tous les phénomènes décrits dans ce Mémoire sont parfaitement en harmonie avec l'explication qui les attribue à l'oxidation. En effet toutes les actions qui tendent à désoxider la surface des fils de fer ou de nickel les rendent positifs, et toutes celles qui tendent à l'oxider rendent ces mêmes fils négatifs, soit passifs. Ce qui donne au fer et au nickel une apparence de singularité dans ce phénomène, c'est qu'il paraît, d'après les recherches de quelques chimistes, que leurs oxides ne sont pas tous également solubles dans les acides ou dans les solutions alcalines. De là la persistance, plus grande pour eux que pour les autres métaux qui seraient plongés dans les mêmes liquides, de la couche superficielle d'oxide qui les recouvre.

A. DE LA RIVE.



EXPÉRIENCES SUR LA FORCE ÉLECTROMOTRICE TELLURIQUE, EXÉCUTÉES PAR Mr. L. MAGRINI, AVEC L'APPAREIL QUE LA VILLE DE MILAN FIT CONSTRUIRE A L'OCCASION DU SIXIÈME CONGRÈS SCIENTIFIQUE. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* du 20 janvier 1845.)

Cette note est extraite d'un travail long et circonstancié, déjà discuté dans les séances des 15, 25 et 27 septembre 1844, du sixième Congrès scientifique, et dans celles des 5 et 21 décembre de l'Institut impérial de Lombardie.

Le long du chemin de fer qui conduit de Milan à Monza, quatre fils furent tendus sur une distance de 13 kilomètres : deux de ces fils étaient en fer, ayant le diamètre de $1\ ^{2}/_{10}$ millimètre, et les deux autres en cuivre du diamètre de $^{5}/_{8}$ de millimètre. De cette manière les sections des deux métaux étaient presque en proportion inverse de leur conductibilité. Ces fils, qui représentaient ensemble un circuit de 52 kilomètres, étaient soutenus par des pieux en bois sec, auxquels étaient attachées des brochettes en fer couvertes de taffetas gommé : les fils étaient arrêtés en tournant une fois sur ces brochettes.

Après plusieurs expériences exécutées avec un très-grand soin, expériences décrites dans mon ouvrage, qui sera bientôt publié, il fut reconnu que l'isolement des fils pouvait être considéré comme physiquement parfait, tant que ces fils seraient parcourus par des courants de faible intensité, tels que sont les courants telluriques, et ceux que produit une pile à la Bagration, dont je me suis ordinairement servi.

Voici quelques-uns des principaux résultats obtenus.

Propriétés des courants telluriques qui passent par des fils d'une grande longueur ne formant pas un circuit fermé.

1. Une lame de métal, ensevelie dans la terre humide ou dans l'eau, en communication avec la masse entière du globe, perd l'équilibre électrique, en rendant libre une partie de son électricité naturelle; de manière que si l'on attache à la même lame un appendice de fil métallique qui s'allonge de plusieurs milles, et qui soit soutenu dans l'atmosphère, la rupture de l'équilibre ou le mouvement électrique se communique à ce fil, produisant ce que l'on est convenu de nommer courant électrique, et que je distingue par le nom de *courant tellurique*.

2. L'intensité de ce courant diminue à l'origine du fil avec une progression très-rapide en s'éloignant de la lame; mais, passé une certaine distance, la diminution procède avec lenteur. Vers l'extrémité libre du fil, le mouvement s'éteint, c'est-à-dire qu'il n'est plus sensible aux instruments.

La propagation de ce mouvement paraît analogue à la propagation du calorique dans les bons conducteurs.

3. Le fil de fer et le fil de cuivre ne se comportent pas, à cet égard, de la même manière. La loi du décroissement est plus rapide et moins régulière dans le fer que dans le cuivre.

4. Lorsque l'on expérimente à une distance toujours déterminée de la lame, l'on peut augmenter, jusqu'à une certaine limite, l'intensité du courant en allongeant le fil.

5. La force du courant augmente jusqu'à une certaine limite en étendant davantage la surface de la lame.

6. L'intensité de ce courant varie (quoique ordinairement elle se montre avec une force constante dans le même lieu de la terre) en changeant le lieu d'immersion de la lame. Ces dif-

férences sont déjà assez notables d'un kilomètre à l'autre le long de la ligne de mon appareil.

7. La direction du courant tellurique est intimement liée à la nature du métal dont est formée la plaque ensevelie dans le terrain; par exemple, une lame de zinc engendre, dans les fils, un courant qui va en sens contraire de celui qui s'obtient avec une plaque de cuivre.

8. Un fil métallique, soutenu dans l'atmosphère, qui se termine, aux deux extrémités, en deux lames ensevelies dans la terre, constitue un réomoteur dans lequel s'engendrent deux courants, c'est-à-dire qu'il y a, dans le fil, un mouvement composé; les deux courants sont contraires ou conspirants, selon que les lames sont formées de métaux capables d'exciter le fluide électrique dans le même sens ou dans un sens opposé; c'est-à-dire qu'ils sont contraires lorsque les deux courants montent, ou que les deux descendent par le fil, et ils sont conspirants lorsque l'un monte et l'autre descend. Dans le premier cas, l'on obtient une résultante presque égale à la différence des actions élémentaires (le pôle électro-négatif se trouvant toujours du côté de l'action prévalente); et, dans le second cas, la résultante s'approche de la somme des mêmes actions.

9. Quoique les plaques soient formées du même métal, et qu'elles aient leurs surfaces d'égale grandeur et soient pareillement décapées, la cessation de l'équilibre a toujours lieu dans le fil. Le courant qui se révèle en pareil cas ne provient pas du manque absolu d'homogénéité dans les plaques, mais dépend plutôt de la qualité de la terre ou de l'eau dans lesquelles elles plongent (du moins d'après les expériences jusqu'à ce jour exécutées), car le courant conserve toujours la même direction lorsque les deux lames échangent le lieu d'immersion.

10. Ce qu'il y a de certain, c'est que le courant qui se manifeste dans un fil métallique qui se termine, à son extrémité, en deux lames enfoncées dans la terre, accomplit le circuit

moyennant la terre même, et constitue une espèce de pile à la Bagration.

Propriétés des courants telluriques lorsqu'ils parcourent une chaîne métallique qui se ferme.

11. Dans une chaîne fermée, construite par deux fils métalliques soutenus dans l'atmosphère, il y a courant lorsque la chaîne communique avec le terrain humide par la conjonction d'un autre fil métallique qui se termine à son extrémité par une lame ensevelie dans la terre. Je nomme *nœud* le point de conjonction.

12. L'intensité du courant est à son maximum près du nœud, diminue en s'en éloignant, passe par zéro, et enfin change de direction, et en s'approchant du nœud, par l'autre côté, présente les mêmes phénomènes.

13. Le zéro, ou bien le lieu où subsiste l'équilibre, n'est pas disposé tout à fait symétriquement dans la chaîne, ce qui provient peut-être du manque d'homogénéité dans toutes les parties. Cependant, lorsque le circuit s'allonge, la position du zéro tend toujours à devenir plus symétrique. L'intensité du courant influe aussi sur le déplacement du zéro ; car plus le courant se trouve être faible, plus aussi l'équilibre approche de se trouver vers la moitié du circuit.

14. Si on ouvre la chaîne là où s'est formé le nœud, le courant acquiert presque une intensité double, et conserve dans l'arc métallique une seule direction.

Cela fait supposer qu'en partant du nœud, le courant se partage en deux courants, qui vont se rencontrer et se heurter. Voici la cause de la double intensité : l'irruption, c'est-à-dire la communication du mouvement, ne peut s'accomplir, le circuit n'étant ouvert que par un seul véhicule.

15. Les courants telluriques s'engendrent aussi en sens con-

traire de la force électromotrice propre des métaux et des liquides isolés de la masse du globe terrestre.

En effet, une lame de cuivre ensevelie dans la terre excite dans un fil en cuivre très-long et soutenu dans l'air, un courant comme si ce fil jouait le rôle du zinc d'un couple voltaïque.

La lame de cuivre continue d'agir comme le pôle négatif, même lorsqu'elle est plongée dans une dissolution de sel ammoniac contenue dans une auge de terre poreuse, et en communication avec la masse entière du globe.

16. Une lame de fer qui s'oxide dans l'eau ou dans l'acide nitrique étendu, en communication avec la masse du globe, produit le même effet, c'est-à-dire qu'elle joue le rôle de pôle négatif aussi bien avec le fil de fer qu'avec le fil de cuivre soutenus dans l'air; le courant se comporte comme si le galvanomètre était situé entre le cuivre et le cinc d'un couple voltaïque, le zinc se trouvant constamment du côté du fil soutenu dans l'atmosphère.

Ces faits, qui ne se sont jamais démentis, ne sont pas conciliables avec l'hypothèse, que la lame combinée avec le fil constitue un couple voltaïque ordinaire, en admettant que c'est le cuivre qui pousse vers le fer.

17. Mais pour en donner une preuve éclatante, il suffit d'interrompre la communication de la plaque avec la terre, de prendre une portion de cette terre ou de cette eau dans laquelle se trouvait immergée la plaque, et de former, au moyen d'une auge isolée, un couple voltaïque entre la plaque de fer et le fil de cuivre. Alors on a le courant en direction contraire de celui qui s'obtient lorsque la plaque est en communication avec le globe terrestre.

18. Parmi les métaux déjà éprouvés dans le sein de la terre, le platine, le cuivre, le laiton, le fer, la fonte, l'étain, le plomb sont ceux qui excitent le fluide électrique dans une même direction par rapport à notre globe, et ils peuvent être considérés comme électro-négatifs dans le langage de Volta,

par rapport aux fils métalliques soutenus dans l'air, et comme électro-positifs par rapport à la terre, quoique les deux derniers présentent quelquefois des anomalies dont il serait trop long de parler ici.

19. Le zinc est le seul métal entre les métaux communs qui, dans toutes les combinaisons, manifeste constamment la puissance d'exciter le fluide électrique en direction contraire des autres métaux. En conséquence, on doit le considérer comme étant jusqu'ici le seul électro-positif par rapport aux fils, et électro-négatif par rapport à la terre.

Sur la cause des courants telluriques.

20. Dans l'état actuel de la science, il paraît que l'on ne peut expliquer ces phénomènes, sans attribuer au globe terrestre une force électromotrice capable aussi de détruire celle qui se produit ordinairement entre les métaux et les liquides isolés. Notre planète serait l'électromoteur le plus négatif de tous les métaux déjà nommés, sauf le zinc, parce qu'il pousserait le fluide dans le premier et il le recevrait du dernier.

21. Mr. Becquerel avait depuis longtemps indiqué aux physiciens la propriété possédée par un métal de rendre libre une partie de son électricité naturelle, et de se mettre en état de tension lorsqu'il est plongé dans un liquide. Il est clair pourtant que, puisqu'il existe un moyen capable de dissiper cette électricité libre ou de la rendre latente, le métal doit se remettre dans son état naturel pour devenir de nouveau électrique, si toutefois le liquide peut aussi reprendre son état primitif, et conserver en conséquence sa force électromotrice.

Or, si à la plaque de métal on attache un appendice en fil très-long soutenu dans l'air, et que celui-ci soit capable de recevoir l'électricité jusqu'à la rendre latente, éteignant le mouvement à mesure qu'il s'y développe, on comprend qu'il soit possible que dans ce fil il s'effectue un courant dont l'intensité

aille en diminuant avec rapidité, au fur et à mesure qu'il s'éloigne de la lame.

C'est justement en cela que consiste le réomoteur tellurique: car le terrain humide, ou l'eau en communication avec la masse entière du globe, ne conservant jamais aucun degré de tension, et, en conséquence, se retrouvant toujours dans l'état naturel et avec une force électromotrice constante, doit toujours exciter dans la plaque et maintenir le mouvement, pendant que le fil tend continuellement à rétablir l'équilibre. Il est inutile d'entrer ici dans des explications plus circonstanciées. Je dirai seulement que, en interrogeant l'expérience, on parvient à démontrer, avec la rigueur qu'exige la science, qu'un couple voltaïque peut se retrouver dans les conditions mêmes d'un réomoteur tellurique composé, et produire en conséquence des courants sans le circuit.

22. Lorsque l'on vient ensuite à établir entre le circuit métallique parcouru par un courant voltaïque et la masse du globe, une, deux, ou plusieurs communications simultanées avec des plaques de métaux différents, et qu'on varie la position respective de ces lames, du galvanomètre et du réomoteur, on obtient des phénomènes singuliers et en apparence inconciliables entre eux, mais qui reçoivent une explication facile et naturelle dans l'hypothèse de l'électromotricité du globe.

La terre conduit les courants électriques.

Les expériences exécutées à ce sujet par Mr. Matteucci, conduisent à des résultats complexes qui appartiennent à ce nouvel ordre de phénomènes.

23. J'ai trouvé qu'une portion de terre interposée entre deux plaques métalliques, jointes ensemble au moyen des fils conducteurs avec les pôles d'une pile voltaïque, oppose au passage du courant une résistance qui peut être égale, plus grande, ou moindre que celle présentée par un fil métallique très-fin,

qui ait la même longueur, et cela selon la nature et la grandeur de la lame.

Dans de telles recherches, il faut pourtant avoir égard à l'électromotricité de la terre et aux courants telluriques qui peuvent se rendre contraires ou conspirants avec le courant voltaïque, et il faut, en conséquence, avoir égard aux corrections que ces conflits exigent.

24. En général, la résistance du terrain diminue jusqu'à une certaine limite, si on augmente la surface des plaques qui sont plongées dans son sein.

25. Il en résulte que dans un circuit mixte, c'est-à-dire formé en partie par le fil métallique et en partie par la terre[1], le courant peut acquérir plus d'efficacité que dans un circuit tout métallique de la même longueur.

Ce fait a déjà été annoncé par Mr. Matteucci.

26. Cependant on n'a pas trouvé qu'avec l'intermédiaire de la terre, la résistance opposée par le fil métallique, qui fait partie du circuit, puisse diminuer, comme il semble que Mr. Matteucci l'avait déduit de ses premières expériences.

27. De même, on n'a pas trouvé qu'un intervalle de terre plus ou moins long présente la même résistance, comme cela semblait à l'expérimentateur de Pise.

Quant à moi, j'ai démontré, par une longue série d'expériences enchaînées de plusieurs manières, que lorsque la terre intervient dans un circuit voltaïque, elle se comporte comme des conducteurs ordinaires, et qu'à la terre, comme à tout autre conducteur, peut être appliquée la loi que Mr. Ohm a renfermée dans sa formule.

J'ai trouvé, en effet, que la terre, à côté de mon appareil, présente une résistance *media* équivalente à celle de 260 mètres de mon fil pour chaque kilomètre de distance, et que la *résistance de passage*, qui peut être considérée comme une constante, correspond, à peu près, à 200 mètres du même fil. C'est pour cela que le professeur Matteucci, expérimentant en-

tre de très-courtes distances (de quelques centaines de mètres), et avec un galvanomètre peu sensible, ne pouvait pas signaler cette résistance.

Propriétés des courants telluriques lorsqu'ils parcourent une chaîne formée par différents métaux.

28. Les propriétés que manifestent les courants telluriques, lorsqu'ils parcourent une chaîne composée de différents métaux, sont très remarquables.

Dans un circuit de 52 kilomètres, moitié de fer, moitié de cuivre, les courants telluriques, produits par des plaques de platine, de cuivre, de zinc, de charbon, de manganèse et de fer, en contact avec l'acide nitrique étendu, ont une plus grande intensité lorsque le point de conjonction des lames se retrouve entre le *galvanomètre* et le fer, que lorsque ce point se retrouve entre le galvanomètre et le cuivre à chaîne fermée.

29. Lorsque la chaîne est ouverte dans le point de conjonction de la lame avec la spirale galvanométrique, l'intensité s'augmente lorsque le courant, sortant du galvanomètre, entre premièrement dans le cuivre et ensuite dans le fer.

30. Dans les deux cas cités nous avons, au contraire, un affaiblissement des courants, lorsque ceux-ci sont produits par l'ensevelissement dans la terre de l'étain, du plomb et même du fer, dans l'état ordinaire.

31. Disposant convenablement les quatre fils de l'appareil, soit pour allonger la chaîne, soit pour en accroître la section en joignant entre elles les extrémités des fils comme pour en former un seul faisceau, on observe que les courants telluriques, quoiqu'ils acquièrent de la force en allongeant les fils, en gagnent cependant davantage lorsqu'on en accroît la section; c'est-à-dire qu'il vaut mieux doubler, par exemple, la section en doublant le nombre des fils, et en conséquence les véhicules, au lieu d'un redoublement de longueur.

Ce résultat était à prévoir depuis que nous avons vu, par les expériences précédentes, la loi très-rapide avec laquelle diminue l'intensité du courant en s'éloignant de sa source, lorsqu'il parcourt une certaine longueur de fil.

Faits qui tendent plus particulièrement encore à rattacher au principe des vibrations la théorie physique de l'électricité.

Pour concevoir les phénomènes dont nous avons fait mention, comment l'équilibre électrique vient à se rompre, et comment un courant s'engendre, j'ai cru nécessaire de rappeler de nouveau l'idée des ondes, parce que, dans l'état actuel de nos connaissances, il est permis de penser que le système des vibrations peut aussi dominer la théorie physique de l'électricité, et conduire, du moins en partie, aux mêmes principes que pour la théorie de la lumière et du calorique rayonnant.

32. En plaçant trois fils assez courts de manière à conduire, dans le même temps, deux courants voltaïques inégaux, indépendants entre eux, et avec force constante sur deux galvanomètres séparés, ceux-ci marquent simultanément à index fixé les déviations mêmes qui se manifestent lorsque les circuits se ferment séparément. Et, dans ce cas, un conducteur même (le fil intermédiaire ou central) se trouvant en contact avec le pôle cuivre d'un réomoteur, et en même temps avec le pôle zinc d'un autre réomoteur, doit donner passage, c'est-à-dire doit servir de véhicule à deux courants simultanés, inégaux et contraires, sans une altération sensible, ou il doit être doué de quelque propriété qui puisse correspondre à cet office.

33. Si le pôle cuivre d'un couple voltaïque (à force constante et isolée) se joint avec un fil de métal très-long qui, d'un côté, s'étend dans l'atmosphère sans communication avec le sol, et si le pôle zinc du même couple se joint avec un autre fil qui s'étend également de l'autre côté, il se manifeste

dans les deux fils deux courants vigoureux à force constante et en direction contraire l'un de l'autre, quoique le circuit ne soit pas fermé, ni qu'aucune partie du système ne se trouve en communication directe avec la terre, et qu'il n'y ait pas de contact métallique entre les deux plaques qui constituent les pôles du réomoteur. Le long des fils, l'intensité de ces courants varie avec la distance des pôles, selon la loi indiquée au second paragraphe.

Dans la dernière partie de l'ouvrage dont, comme j'ai déjà dit, je prépare la publication, je me suis efforcé d'appliquer aux usages de la vie et de rendre profitable à l'industrie le pouvoir des courants telluriques [1].

RÉSULTATS DES OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES FAITES A GENÈVE, DANS LES ANNÉES 1842 ET 1843, par E. PLANTAMOUR, prof. d'astronomie à l'Académie de Genève. (Extrait des *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, t. X, 2e partie.)

C'est à la fin du mois de mai 1842, que l'observatoire magnétique a été mis en état de recevoir d'une manière permanente les instruments destinés à l'observation de la déclinaison de l'aiguille aimantée, sans qu'ils eussent à souffrir par trop de

[1] Il est plusieurs points, dans la notice qu'on vient de lire, que nous n'avons pas très-bien compris; il est également quelques faits desquels l'auteur a tiré des conséquences qui nous paraissent être susceptibles d'objections. Nous estimons, en particulier, que, dans ces curieuses expériences, il est important de tenir compte de l'électricité atmosphérique, qui doit y jouer un rôle, vu le long trajet que font dans l'air les fils métalliques isolés. Nous reviendrons incessamment sur cet intéressant sujet, quand nous aurons le mémoire entier de Mr. Magrini.

(A. DE LA RIVE.)

l'humidité. La série des observations de la déclinaison que je vais examiner commence le 2 juin de cette année, et continue jusqu'au 17 octobre 1843, sans autre interruption que celle qui a été occasionnée du 10 au 14 février 1843, par une irruption de la neige. En effet, le plafond du bâtiment magnétique n'était qu'en papier, la neige chassée par une forte bise le 9 février, pénétra sous les tuiles, et, en se fondant, forma des dépôts d'eau sur le plafond de papier qu'on fut obligé de percer pour la faire écouler; pendant ce temps les instruments ont été couverts, ce qui a empêché de faire les observations.

Le 17 octobre 1843, les instruments ont été enlevés pour faire au bâtiment une réparation essentielle, destinée à le préserver de l'accident que je viens de signaler; le plafond en papier a été remplacé par un plafond en planches, et en outre on a recouvert les cloisons extérieures qui n'étaient qu'en bois, d'un galandage, ce qui diminuera notablement l'humidité dont on avait à souffrir pendant la mauvaise saison.

Pendant toute cette période, savoir du 2 juin 1842 au 17 octobre 1843, la déclinaison de l'aiguille aimantée a été observée 6 fois par jour, à 8 h. et 9 h. le matin, à midi, à 1 h., et à 8 h. et 9 h. du soir; quelquefois les observations ont été faites en outre à d'autres heures de la journée, lorsque des perturbations extraordinaires avaient été remarquées. Enfin nous avons pris part aux observations des termes magnétiques, qui reviennent 4 fois par an, époques auxquelles l'aiguille aimantée s'observe pendant 24 heures consécutives de 5 en 5 minutes.

Les observations diurnes ont été faites en grande partie par Mr. Bruderer, astronome adjoint; les autres par Mr. E. Gautier et par moi; nous avons en outre profité, pour les termes magnétiques, du concours de Mr. Alex. Prevost et de Mr. Muller, ancien astronome adjoint. Mr. E. Gautier a bien voulu m'aider dans la réduction des observations.

Je m'occuperai d'abord de la réduction des observations, puis j'examinerai les résultats qu'on peut tirer de ces dernières,

soit pour la variation de la déclinaison, soit pour la déclinaison moyenne à Genève. Enfin je donnerai les résultats obtenus pour l'inclinaison de l'aiguille aimantée à Genève.

Réduction des observations de la déclinaison magnétique.

L'instrument qui a servi aux observations de la déclinaison, est un magnétomètre construit d'après le système de Gauss, par Meyerstein à Göttingue. Le barreau, qui pèse quatre livres, est suspendu par un fil long d'un peu moins de deux mètres, à une potence qui est indépendante du sol et des cloisons du bâtiment; le miroir, fixé à l'extrémité du barreau tournée vers le nord, est à une distance horizontale de l'échelle de 4981^{mm},9. L'observation est faite à l'aide d'un théodolithe répétiteur, construit aussi par Meyerstein, dont les cercles ont 8 pouces de diamètre, et la lunette 21 pouces de distance focale; il repose sur un pilier en roche calcaire du Jura, indépendant du sol, auquel l'échelle est également fixée. Pour s'assurer de la stabilité de la lunette, on a placé à peu près dans la direction du méridien magnétique une mire, qui consiste en un fort pieu en chêne, enfoncé extérieurement au bâtiment, de 3 pieds dans la terre, et sortant de la même quantité au dessus du sol; à la partie supérieure on a fixé une petite plaque en cuivre, qui se trouve à une distance de l'objectif de la lunette égale au double de la distance de l'échelle à la surface réfléchissante du miroir porté par le barreau. Sur cette plaque sont gravées des divisions qui ont, de même que celles de l'échelle, un millimètre pour intervalle; c'est sur la division moyenne de cette plaque, marquée par le chiffre 0, que le fil du micromètre de la lunette a été amené au commencement de la série des observations, et de temps en temps on vérifiait si la lunette était encore dirigée sur le 0 de la mire, que l'on peut voir en ouvrant un petit guichet pratiqué dans la paroi. Pendant toute la série des observations, les déviations de la lunette du 0 de la mire ont

té très-petites, s'élevant seulement au plus à un millimètre ou n millimètre et demi; on a néanmoins tenu compte de ces éviations dans les réductions, en ramenant chaque lecture à e qu'elle aurait été si la lunette avait été dirigée exactement ur le 0 de la mire. La détermination de la position du plan ptique de la lunette passant par le 0 de la mire, relativement u méridien terrestre passant par le centre de rotation du théodolithe, était facile, parce que la mire de la lunette méridienne de l'observatoire est visible du théodolithe. Au moyen d'une grande série d'observations faite en retournant alternativement la lunette de 180°, pour éliminer les variations dans l'erreur d'axe optique provenant du changement de foyer, j'ai trouvé que l'angle compris au centre de rotation du théodolithe, entre le 0 de la mire magnétique et la mire de la lunette méridienne, était de

$$18^\circ\ 52'\ 57'',5.$$

Pour achever l'orientation de la mire magnétique, il ne restait plus qu'à trouver la distance angulaire de la mire de la lunette méridienne au méridien terrestre passant par le centre du théodolithe. J'avais d'abord songé à calculer cet angle au moyen de la distance de l'observatoire à la mire de la lunette méridienne, et de la distance à laquelle le centre du théodolithe se trouve à l'ouest de cette dernière, que j'avais trouvée égale à $37^m,778$. Mais je n'ai pas pu obtenir assez exactement la distance de l'observatoire à la mire de la lunette méridienne, qui est d'environ 11 000 mètres. Aussi j'ai pris un autre moyen, j'ai fait transporter au sommet du mont Salève, où se trouve la mire, une lunette de Ramsden appartenant à l'observatoire, et à l'aide d'un micromètre j'ai pu mesurer l'angle formé à la mire entre deux repères correspondant à la lunette méridienne et au centre du théodolithe, qui étaient visibles à la fois dans le champ de la lunette. J'ai trouvé pour cet angle $11'\ 57'',5$; en l'ajoutant à l'angle ci-dessus, on a

$$19^\circ\ 4'\ 55'',0$$

pour l'angle dont le plan vertical passant par le centre de rotation du théodolithe et par le 0 de la mire magnétique, se trouve à l'ouest du méridien terrestre qui passe par le centre du théodolithe.

La division de l'échelle qui se trouve dans le plan vertical optique de la lunette dirigée sur le 0 de la mire magnétique, s'obtient en faisant tomber un fil à plomb devant le centre optique de l'objectif; j'ai trouvé constamment soit au commencement, soit au milieu, soit à la fin de la série, que le fil à plomb tombait devant la division 515; donc, comme les chiffres des divisions vont en croissant de l'ouest à l'est, la déclinaison magnétique sera plus faible que 19° 4′ 55″,0, si la division qui se trouve sur le prolongement du barreau est plus forte que 515, et elle sera plus forte si cette division est plus petite que 515.

Pour déterminer l'angle compris entre l'axe du miroir et l'axe magnétique du barreau, je n'avais malheureusement pas un magnétomètre auxiliaire, qui pût me donner les variations de déclinaison qui avaient lieu entre les retournements ; j'ai été obligé d'y remédier en multipliant les retournements, et en diminuant autant que possible l'intervalle de temps nécessaire pour calmer le barreau après l'avoir retourné ; je n'ai cependant pas pu mettre moins de 10 minutes pour cette opération. Une série de retournements, exécutée le 15 octobre 1843, fait voir que le chiffre des divisions indiqué par le barreau était de 6,1 plus fort lorsqu'il était dans sa position normale, la lettre *N* en haut, que lorsqu'il avait été retourné, et que la lettre *N* était en bas, ce qui donne 3,05 divisions pour l'angle compris entre l'axe du miroir et l'axe magnétique du barreau.

Dans la réduction des observations j'ai négligé l'effet de la torsion du fil. Effectivement, au moyen du barreau de torsion et du cercle de torsion qui est fixé au fil, on peut amener l'étrier qui porte le barreau à très-peu près dans le méridien magnétique, en sorte qu'en ayant égard à la petitesse de cet angle, et à la

blesse de la force de torsion exercée par le fil sur le barreau, mparativement à la force de torsion exercée sur lui par le ignétisme terrestre, l'effet de la torsion doit être presque insible. En n'ayant égard qu'à la distance horizontale de l'éelle à la surface réfléchissante du miroir, la valeur angulaire un millimètre de l'échelle est de 0′,34501.

L'observation de la division de l'échelle, qui est sur le prongement de l'axe du miroir, a été faite en prenant la moyenne es 4 résultats partiels qu'on obtient par l'observation des disions qui se trouvent sous le fil du micromètre de la lunette, 5 époques distantes entre elles de la durée d'une oscillation u barreau; on a ainsi la position moyenne du barreau pour la noyenne des 5 époques.

Pour diminuer un peu l'influence des erreurs d'observation, on a toujours joint à l'observation faite à 8 h., 9 h., midi, 1 h., 8 h. et 9 h. du soir, une observation faite 5 minutes avant, savoir à $7^h\ 55^m$, $8^h\ 55^m$, midi 55^m, $7^h\ 55^m$, $8^h\ 55^m$, et on a pris la moyenne entre les deux résultats.

Je renvoie pour le détail des observations au mémoire qui se trouve dans le recueil indiqué dans le titre, mais je dois cependant mentionner une singulière anomalie que présentent les déclinaisons observées depuis le 9 avril jusqu'au 25 juin 1843, qui sont toutes de 18 à 20 minutes trop fortes. Ce changement s'est fait brusquement entre le 8 avril au soir et le lendemain matin, et l'aiguille est revenue tout aussi brusquement à son ancienne position du 25 juin au soir au 26 juin. C'est bien à son ancienne position que l'aiguille est revenue, car en comparant les déclinaisons des mois de juillet, août, septembre, octobre 1843, avec celles des mêmes mois de l'année 1842, on trouve pour la diminution annuelle de la déclinaison, une valeur qui s'accorde avec celle que l'on a obtenue en d'autres endroits. Il paraît beaucoup plus naturel d'attribuer cette déviation à un dérangement de l'instrument, qu'à un changement temporaire du méridien magnétique de Genève; cependant il

m'est impossible de trouver dans l'instrument la cause de cette perturbation. Personne n'a pu s'introduire dans le bâtiment magnétique dans la nuit du 8 au 9 avril, ni dans celle du 25 au 26 juin ; si la perturbation est due à l'instrument, elle a dû s'effectuer d'elle-même, sans cause étrangère. Elle ne provient pas d'un dérangement dans le théodolithe, car la lunette n'a indiqué aucun changement de position relativement au 0 de la mire. Quant aux causes de dérangement dans le barreau, elles ne peuvent provenir que d'un changement dans la position du miroir ou d'un changement dans la suspension ou dans la torsion. Il m'a été impossible de vérifier alors la position de l'axe du miroir relativement à l'axe du barreau, parce que je suis parti peu de jours après pour un voyage ; mais on conçoit difficilement comment l'inclinaison du miroir changerait brusquement de 20 minutes, pour revenir exactement à son ancienne position, et par un mouvement brusque au bout de 77 jours. Il est tout aussi difficile d'expliquer un changement brusque aussi considérable dans la suspension ; il aurait fallu que, dans la nuit du 8 avril, la pièce à laquelle le fil est suspendu glissât de 30 millimètres à l'ouest dans la coulisse dans laquelle elle est serrée, et qu'elle fît le mouvement inverse dans la nuit du 25 juin. Si on voulait attribuer cette perturbation à un effet de torsion, il faudrait admettre que l'angle de torsion du fil eût changé subitement de 200°, et fût revenu subitement à son ancienne valeur. Enfin je me suis assuré que ce dérangement n'était pas dû à une cause qui a été signalée quelquefois, savoir à la présence dans la caisse du magnétomètre d'une araignée ou d'un autre insecte, qui aurait fait dévier le barreau en tendant des fils, ou d'une autre manière.

J'ajouterai en dernier lieu, que dans les jours qui ont précédé le 9 avril, des perturbations assez considérables ont été observées dans la direction de l'aiguille aimantée, soit à Genève, soit en d'autres lieux, et que des tremblements de terre ont été ressentis dans des localités voisines de Genève, en Suisse et en Savoie.

Variations de la déclinaison magnétique.

Les variations de la déclinaison magnétique peuvent être considérées sous deux points de vue, soit qu'on examine les variations qui ont lieu dans un même jour, d'une heure de la journée à l'autre, soit qu'on examine les variations qui ont lieu à la même heure de la journée d'un jour à l'autre. Je m'occuperai d'abord du premier point de vue. Le tableau suivant donne, pour chaque mois, la différence moyenne entre la déclinaison de 1 h. et celle des 5 autres heures d'observation; dans le calcul de ces moyennes on a laissé de côté les observations qui indiquaient une perturbation accidentelle dans la position de l'aiguille aimantée.

(*Voyez le tableau page* 628.)

Ce tableau montre que la déclinaison est plus faible en moyenne à 8 h. du matin, qu'à toutes les autres heures du jour; cependant dans les mois d'octobre, novembre, décembre et mars, elle est un peu plus forte que celle de 9 h., en sorte que dans ces mois-là le minimum du matin se rapproche plus de 9 h. que de 8 h. Dans les mois de novembre, décembre, janvier et février, la déclinaison est plus faible à 8 h. et à 9 h. du soir, qu'à 8 h. et à 9 h. du matin; donc dans les mois d'hiver le minimum du soir est plus bas que celui du matin, tandis que, dans le reste de l'année, c'est le minimum du matin qui est le plus bas. Enfin la déclinaison est constamment moins forte à 9 h. du soir qu'à 8 h. du soir, donc l'époque du minimum du soir est plus voisine de 9 h. que de 8 h. du soir. On peut remarquer aussi que ce n'est pas insensiblement, mais presque subitement, que l'amplitude de la variation diurne entre 1 h. et 8 h. et 9 h. du matin, diminue du mois d'octobre au mois de novembre, et qu'après être restée presque stationnaire pendant les mois d'hiver, elle augmente de nouveau très-rapidement du mois de février au mois de mars.

Différence moyenne donnée pour chaque mois entre la déclinaison à 1 heure et celle des heures suivantes.

		8 h.		9 h.		Midi.		8 h.		9 h.	
Juin	1842	+9′,40	+9′,01	+8′,59	+8′,34	+1′,07	+1′,21	+5′,83	+5′,46	+5′,93	+5′,63
	1843	8,62		8,10		1,36		5,10		5,33	
Juillet	1842	8,17	8,82	7,35	7,96	1,43	1,44	4,88	5,55	5,05	5,78
	1843	9,48		8,57		1,45		6,22		6,52	
Août	1842	8,88	9,50	7,83	8,21	0,95	1,01	6,58	6,99	6,61	7,01
	1843	10,11		8,60		1,08		7,40		7,42	
Septembre	1842	8,19	8,72	7,00	7,84	0,32	0,57	7,77	8,02	7,59	8,14
	1843	9,26		8,68		0,84		8,28		8,69	
Octobre	1842	7,71	7,75	7,58	7,97	0,79	0,51	6,73	6,70	7,05	7,32
	1843	7,80		8,36		0,24		6,67		7,60	
Novembre	1842		4,41		4,45		0,42		4,82		4,95
Décembre	1842		3,20		3,33		0,18		3,83		4,21
Janvier	1843		4,22		4,60		0,75		4,21		4,58
Février	1843		4,53		4,10		0,53		4,35		5,07
Mars	1843		7,30		7,65		0,96		5,90		6,55
Avril	1813		7,63		7,53		1,01		5,58		5,50
Mai	1843		6,93		6,21		0,68		4,28		4,38
		Moyenne	+6,84		+6,52		+0,77		+5,47		+5,76

Si on examine maintenant les variations de la déclinaison qui ont lieu à la même heure d'un jour à l'autre, on reconnaît une certaine régularité dans ces variations : la déclinaison va en augmentant pendant quelques jours, jusqu'à ce qu'elle atteigne

un maximum, puis elle diminue jusqu'à ce qu'elle arrive à un minimum, et ainsi de suite.

J'ai formé ci-dessous, pour les observations de 8 h. du matin, le tableau des jours où la déclinaison paraît avoir atteint un maximum ou un minimum, avec l'indication de cette déclinaison maximum ou minimum.

Maximums et minimums de la déclinaison magnétique à 8 h. m.

Maximum.					Minimum.				
1842	Juin	15	18°	58',07		Juin	9	18°	55',94
		29		52,80			25		47,90
	Juillet	9		56,34		Juillet	1		51,27
		23		56,64			14		48,50
	Août	6		56,33			26		50,77
		18		58,32		Août	12		53,08
	Septembre	3		57,98			26		53,86
		17		59,85		Septembre	11		53,56
		30		58,24			25		54,31
	Octobre	16		57,65		Octobre	9		54,37
		28		58,58			19		53,87
	Novembre	11		59,39		Novembre	6		55,73
		26		57,98			17		55,96
	Décembre	6	19	0,04		Décembre	3		56,08
		18		0,00			13		56,66
1843	Janvier	2	18	58,44			29		56,10
		19		56,54	1843	Janvier	15		55 66
	Février	5		57,83			28		55,32
		18		57,43					
	Mars	3		56,12		Février	24		55,28
		13		57,96		Mars	10		54,31
		30		53,26			24		52,67
	Avril	18	19	12,42		Avril	9	19	11,42
	Mai	3		13,79			26		10,96
		19		12,16		Mai	15		10,24
	Juin	5		10,58			27		8,42
		17		17,73		Juin	9		9,04
							23		11,75
	Juillet	8	18	54,64		Juillet	3	18	47,37
		26		51,78			18		48,75
	Août	7		51,24		Août	2		48,77
		18		50,56			13		48,51
	Septembre	5		54,35			26		46,43
		22		50,84		Septembre	8		48,27
	Octobre	1		52,72			27		48,09

D'après ce tableau l'intervalle de temps compris en moyenne entre un maximum et le minimum suivant, est d'environ 13,8 jours ; il est à peu près le même que l'intervalle compris entre un minimum et le minimum suivant ; donc la période qui ramène deux maximums ou deux minimums consécutifs, est d'un peu moins de 14 jours ; la différence moyenne entre un maximum et le minimum suivant est de 3′,75. Pour chercher la cause de ces variations on se reporte naturellement à la lune, qui offre dans son mouvement des périodes analogues, non pas dans le mouvement synodique, mais dans le mouvement relativement à l'équateur, celui qui ramène la lune à une même déclinaison. Si nous cherchons quelle est la position de la lune relativement à l'équateur pour toutes les époques du maximum à 8 h. du matin, nous trouvons qu'elle est en général dans le voisinage de son passage par l'équateur. En effet sur 33 maximums observés, il y en a 23 pour lesquels la lune se trouvait à moins de 16° de l'un ou de l'autre côté de l'équateur, et 10 pour lesquels elle avait une déclinaison boréale ou australe plus forte que 16°. Les minimums de la déclinaison à 8 h. du matin arrivent, au contraire, lorsque la lune se trouve à sa plus grande distance boréale ou australe de l'équateur ; sur 34 minimums observés, 24 sont arrivés lorsque la lune avait une déclinaison boréale ou australe plus forte que 16°, et 10 lorsqu'elle se trouvait à une distance moindre de l'équateur. Il paraît donc que la lune exerce sur la direction de l'aiguille aimantée à 8 h. du matin, une influence telle que, lorsqu'elle est dans le voisinage de l'équateur, la déclinaison magnétique augmente, tandis qu'elle diminue, lorsque la lune se trouve à sa plus grande distance de part et d'autre de l'équateur.

En examinant de la même manière les variations de la déclinaison à 1 h., j'ai formé le tableau suivant pour les époques des maximums et des minimums, et pour les valeurs correspondantes de la déclinaison.

Maximums et minimums de la déclinaison magnétique à 1 h.

Maximum.					Minimum.				
1842	Juin	10	19°	9',27		Juin	15	19°	3',16
		17		5,71			25	18	55,24
	Juillet	5		3,08		Juillet	14		55,41
		18		3,17			24	19	1,45
		31		5,54		Août	10		0,35
	Août	17		8,74			27		5,09
		29		6,60			31		2,97
	Septembre	9		7,32		Septembre	14		2,45
		20		6,86		Octobre	1		0,35
	Octobre	8		7,90			16		1,68
		23		4,86		Novembre	1		1,06
	Novembre	5		3,43			15	18	59,71
		22		2,09			28	19	0,17
	Décembre	6		1,89		Décembre	13	18	59,35
		18		3,94			21		59,03
		30		2,19	1843	Janvier	4		59,37
1843	Janvier	16		2,40			25		59,46
		29		1,32		Février	4		58,81
	Février	7		2,88			18		59,24
		22		2,07		Mars	1		59,22
	Mars	6		2,49			10	19	0,51
		20		3,72			24		1,58
	Avril	3		4,68					
		14		21,35		Avril	22		16,24
		30		20,33		Mai	12		16,26
	Mai	15		18,27			23		15,50
		25		20,34		Juin	6		16,32
	Juin	10		18,56			23		16,76
	Juillet	2		2,98		Juillet	7		56,89
		13		2,31			18		58,41
		29		1,78			31		57,75
	Août	11		1,75		Août	18		57,34
		23		1,41			28		55,48
	Septembre	7		0,99		Septembre	13		54,25
		18		2,73			22		56,63
	Octobre	5		1,98		Octobre	10		56,87
		15	18	59,61					

On voit par ce tableau que l'intervalle de temps compris en moyenne, soit entre deux maximums, soit entre deux minimums

consécutifs, est encore de 13,8 jours, c'est-à-dire le même à peu près que celui que j'avais trouvé pour 8 h. du matin; la différence moyenne entre un maximum et le minimum suivant, est de 4',33. Mais les maximums et les minimums ont lieu, relativement à la déclinaison de la lune, dans un ordre inverse de celui qui a été remarqué pour 8 h. du matin.

Effectivement, sur 37 maximums observés, 27 ont eu lieu lorsque la lune avait une déclinaison boréale ou australe plus grande que 16°, et sur 35 minimums observés, 23 sont arrivés lorsque la lune avait une déclinaison boréale ou australe moindre que 16°. Donc l'influence de la lune sur la direction de l'aiguille aimantée à 1 h. a pour effet de diminuer la déclinaison magnétique, lorsqu'elle est dans le voisinage de l'équateur, et au contraire de l'augmenter, lorsqu'elle est à sa plus grande distance boréale ou australe.

En envisageant donc dans son ensemble l'influence de la lune sur les variations de la déclinaison magnétique, on voit que la lune tend à diminuer l'amplitude de la variation diurne entre 8 h. et 1 h., lorsqu'elle est dans le voisinage de l'équateur, puisqu'elle augmente la déclinaison à 8 h., et qu'elle la diminue à 1 h. Lorsque la lune est à sa plus grande distance, au-dessus ou au-dessous de l'équateur, elle tend au contraire à augmenter l'amplitude de la variation diurne, puisqu'elle diminue la déclinaison à 8 h. du matin, et qu'elle l'augmente à 1 h.

Tels sont les résultats auxquels m'a amené l'examen des variations de la déclinaison magnétique à 8 h. et à 9 h., pour la série d'observations qui a été faite jusqu'à présent à Genève. Je crois qu'il y a quelque intérêt à les énoncer dès à présent, quand même ils ne peuvent être confirmés que par une longue série d'observations, car ce n'est que par une longue série d'observations que l'on peut arriver à reconnaître les mouvements réguliers dans un phénomène comme celui de la variation de la déclinaison à une même heure, dans lequel ils sont

si souvent masqués par des anomalies dues à des causes inconnues.

Déclinaison moyenne de l'aiguille aimantée.

On peut chercher la déclinaison moyenne de l'aiguille aimantée pour chacune des heures d'observation, pendant une certaine période, et c'est ce que je ferai d'abord ; on peut ensuite se proposer de déterminer la déclinaison moyenne des 24 heures. J'ai formé dans le tableau ci-dessous les moyennes mensuelles des déclinaisons observées pour chaque heure, en laissant encore de côté les observations qui présentaient des perturbations accidentelles, et en scindant les résultats pour les deux mois pour lesquels le changement brusque de déclinaison dont j'ai parlé a eu lieu.

(*Voyez le tableau n° 1 page* 634.)

On reconnaît facilement, par ce tableau, la nature des variations qui ont lieu aux différentes heures, dans la déclinaison magnétique, pendant le cours d'une année ; mais, pour les déterminer plus exactement, il faudrait tenir compte de la diminution constante de la déclinaison, c'est-à-dire ramener les moyennes mensuelles à une époque commune, relativement au mouvement séculaire. Malheureusement le changement de la déclinaison magnétique que j'ai signalé, du mois d'avril au mois de juin, m'empêche de pouvoir comparer avec confiance les déclinaisons des mois de juillet, août, septembre et octobre 1842, avec celles des mois correspondants de l'année 1843, pour en déduire la diminution annuelle de la déclinaison. Voici néanmoins les valeurs données, pour cette diminution, par chacun de ces 4 mois, et pour chaque heure.

(*Voyez le tableau n° 2 page* 634.)

Nº 1. — *Moyennes mensuelles de la déclinaison magnétique aux différentes heures.*

		8 h.	9 h.	Midi.	1 h.	8 h.	9 h.
1842	Juin	18° 54',16	18° 54',97	19° 2',49	19° 3',56	18° 57',73	18° 57',63
	Juillet	53,39	54,21	0,13	1,56	56,68	56,51
	Août	55,38	56,43	3,31	4,26	57,68	57,65
	Septembre	56,50	57,69	4,37	4,69	56,92	57,10
	Octobre	56,11	56,24	3,03	3,82	57,09	56,77
	Novembre	57,16	57,12	1,15	1,57	56,75	56,62
	Décembre	57,19	57,06	0,21	0,39	56,56	56,18
1843	Janvier	56,59	56,21	0,06	0,81	56,60	56,23
	Février	56,05	56,48	0,05	0,58	56,23	55,51
	Mars	54,37	54,02	0,71	1,67	55,77	55,12
(1 au 8)	Avril	53,05	52,96	1,60	3,12	55,89	55,08
(9 au 30)	Avril	19 11,98	19 12,16	17,91	18,73	19 13,75	19 14,16
	Mai	11,11	11,83	17,36	18,04	13,76	13,66
(1 au 25)	Juin	11,46	11,82	17,88	19,20	14,68	14,44
(26 au 30)	Juin	18 49,01	50,34	0,48	2,04	18 54,06	18 53,85
	Juillet	50,44	51,35	18 58,47	18 59,92	53,70	53,40
	Août	49,19	50,70	58,22	59,30	51,90	51,88
	Septembre	49,70	50,28	58,12	58,96	50,68	50,27
(1 au 17)	Octobre	50,24	49,68	57,80	58,04	51,37	50,44

Nº 2. — *Diminution annuelle de la déclinaison.*

	8 h.	9 h.	Midi.	1 h.	8 h.	9 h.	Moyenne
Juillet	-2'95	-2',86	-1',66	-1',64	-2',98	-3',11	-2',53
Août	6,19	5,73	4,89	4,96	5,78	5,77	5,55
Septembre	6,80	7,41	6,25	5,73	6,24	6,83	6,54
Octobre	5,87	6,56	5,23	5,78	5,72	6,33	5,91
Moyenne	-5,45	-5,64	-4,51	-4,53	-5,18	-5,51	-5,13

En adoptant, pour la *diminution annuelle*, la valeur moyenne —5,13, qui, se rapprochant beaucoup de celle qui a été observée ailleurs, ne peut pas s'écarter beaucoup de la vérité, il faudra, pour ramener relativement au mouvement séculaire les différentes moyennes mensuelles à l'époque commune du 1er janvier 1843, leur appliquer les corrections suivantes : on retranchera des déclinaisons moyennes de juin, juillet, août, septembre, octobre, novembre, décembre 1842, respectivement les nombres 2',78; 2',35; 1',92; 1',50; 1',07; 0',64; 0',21, et on ajoutera aux déclinaisons moyennes de janvier, février, mars, avril (du 1 au 8), avril (du 9 au 30), mai, juin (du 1 au 25), juin (du 26 au 30), juillet, août, septembre, octobre 1843, réciproquement les nombres 0',21; 0',64; 1',07; 1',34; 1',57; 1',92; 2',31; 2',50; 2',78; 3',20; 3',63; 3',97.

On obtient ainsi les moyennes mensuelles suivantes, pour les différentes heures.

(*Voyez le tableau page* 636.)

L'anomalie qui a été signalée dans les mois d'avril, mai et juin 1843, ne me permet de pouvoir comparer que 10 mois, savoir de juin 1842 à mars 1843 inclusivement, avec la moyenne de ces 10 mois ; cette moyenne, qui a aussi pour époque relativement au mouvement séculaire le 1er janvier 1843, est pour chaque heure :

8 h.	9 h.	Midi.	1 h.	8 h.	9 h.
18° 54',83	18° 55',19	19° 0',70	19° 1',44	18° 55',95	18° 55',68

La comparaison de la moyenne pour chaque heure avec la moyenne pour les différents mois, donne les valeurs suivantes pour les variations mensuelles de la déclinaison, pendant ces 10 mois, aux différentes heures.

(*Voyez le tableau page* 637.)

Moyennes mensuelles de la déclinaison ramenées au 1er janvier 1843.

	8 h.	9 h.	Midi.	1 h.	8 h.	9 h.
1842 Juin	18° 51',38	18° 52',19	18° 59',71	19° 0',78	18° 54',95	18° 54'85
Juillet	51,04	51,86	57,78	18 59,21	54,33	54,16
Août	53,46	54,51	19 1,39	19 2,34	55,76	55,73
Septembre	55,00	56,19	2,87	3,19	55,42	55,60
Octobre	55,04	55,17	1,96	2,75	56,02	55,70
Novembre	56,52	56,48	0,51	0,93	56,11	55,98
Décembre	56,98	56,85	0,00	0,18	56,35	55,97
1843 Janvier	56,80	56,42	0,27	1,02	56,81	56,44
Février	56,69	57,12	0,69	1,22	56,87	56,15
Mars	55,44	55,09	1,78	2,74	56,84	56,19
(1 au 8) Avril	54,39	54,30	2,94	5,46	57,23	56,42
(9 au 30) Avril	19 13,55	19 13,73	19,48	20,30	19 15,32	19 15,73
Mai	13,03	13,75	19,28	19,96	15,68	15,58
(1 au 25) Juin	13,77	14,13	20,19	21,51	16,99	16,75
(26 au 30) Juin	18 51,51	18 52,84	2,98	4,54	18 56,56	18 56,35
Juillet	53,22	54,13	1,25	2,70	56,48	56,18
Août	52,39	53,90	1,42	2,50	55,10	55,08
Septembre	53,33	53,91	1,75	2,59	54,31	53,90
Octobre	54,21	53,65	1,77	2,01	55,34	54,41

		8 h.	9 h.	Midi.	1 h.	8 h.	9 h.
1842	Juin	-3',45	-3',00	-0',99	-0',66	-1',00	-0'83
	Juillet	-3,79	-3,33	-2,92	-2,23	-1,62	-1,52
	Août	-1,37	-0,68	+0,69	+0,90	-0,19	+0,05
	Septembre	+0,17	+1,00	+2,17	+1,75	-0,53	-0,08
	Octobre	+0,21	-0,02	+1,26	+1,31	+0,07	+0,02
	Novembre	+1,69	+1,29	-0,19	-0,51	+0,16	+0,30
	Décembre	+2,15	+1,66	-0,70	-1,26	+0,40	+0,29
1843	Janvier	+1,97	+1,23	-0,43	-0,42	+0,86	+0,76
	Février	+1,86	+1,93	-0,01	-0,22	+0,92	+0,47
	Mars	+0,61	-0,10	+1,08	+1,30	+0,89	+0,51

On voit, d'après ce tableau, que par suite d'une action exercée probablement par le soleil, puisque la période des variations est d'une année, la déclinaison diminue dans les mois d'été, et augmente dans les mois d'hiver pour 8 h. et 9 h. du matin, 8 h. et 9 h. du soir. Quant à la déclinaison à midi et à 1 h., les maximums semblent arriver plutôt aux deux équinoxes, et les minimums aux deux solstices. Enfin on voit aussi que les variations annuelles sont beaucoup moins fortes à 8 h. et à 9 h. du soir qu'aux autres heures de la journée.

Cherchons enfin à déterminer la déclinaison moyenne, non plus pour une certaine heure de la journée, mais pour les 24 heures. Eu égard à la rapidité et au peu de régularité des variations de la déclinaison, il faudrait, pour avoir exactement la déclinaison moyenne d'un jour, faire pendant 24 heures consécutives des observations à des intervalles de temps très-rapprochés, et en prendre la moyenne. Ce n'est qu'approximativement qu'on peut déterminer la déclinaison moyenne d'un jour au moyen de quelques observations isolées faites pendant la journée; souvent on s'est contenté de prendre la moyenne de la déclinaison à 8 h. du matin et à 1 h., ces deux heures étant rapprochées de l'époque du minimum et du maximum.

Comme nous avons observé les termes magnétiques depuis le commencement de 1841, j'avais 12 séries d'observations

faites pendant 24 heures consécutives de 5 en 5 minutes, et qui pouvaient par conséquent me donner exactement la déclinaison moyenne de ces 12 jours ; en comparant ces déclinaisons moyennes avec les déclinaisons aux heures que j'avais adoptées pour les observations diurnes, je pouvais avoir 12 données sur l'excédant de la déclinaison pour ces heures sur la déclinaison moyenne.

J'ai été obligé de laisser de côté les termes d'août 1841 et de février 1842, parce qu'ils présentaient des perturbations magnétiques trop considérables pour que la moyenne n'en fût pas notablement altérée. Les termes magnétiques ont lieu du dernier vendredi au soir au dernier samedi au soir, dans les mois de février, mai, août et novembre. Voici, pour les termes magnétiques de chacun de ces mois des années 1841 à 1843, l'excédant de la déclinaison observée à 8 h., 9 h., midi, 1 h., 8 h., 9 h., sur la déclinaison moyenne du jour.

(*Voyez le tableau page* 639.)

Ces observations font voir que la moyenne de la déclinaison observée à 8 h. du matin et à 1 h. est constamment plus forte que la déclinaison moyenne du jour, savoir : en février de + 2',05, en mai de + 2',04, en août de + 1',17, en novembre de + 1',23, et en moyenne pour l'année de + 1',62. La moyenne des 6 observations faites à 8 h., 9 h., midi, 1 h., 8 h. et 9 h. se rapproche plus de la déclinaison moyenne ; en effet, l'excédant de cette moyenne sur la moyenne du jour est en février de + 0',85, en mai de + 0',55, en août de + 0',27, et en novembre de + 0',46, en moyenne pour l'année de + 0',53. Donc la moyenne de la déclinaison pour ces 6 heures donne un résultat de + 0',53 plus fort que la déclinaison moyenne du jour. Cela vient de ce que ces 6 heures d'observation tombent dans le jour, et que la nuit la déclinaison magnétique est, à ce qu'il paraît, un peu plus faible que pendant le jour. En appliquant donc une correction de — 0',53 à la moyenne des 6 observations diurnes dans le

Excédant de la déclinaison aux différentes heures sur la déclinaison moyenne du jour.

		8 h.		9 h.		Midi.		1 h.		8 h.		9 h.	
Février	1841	+0',76		+1',38		+2',66		+5',20		-1',11		+0',04	
	1842		+0',13		+0',25		+2',55		+3',98		-1',06		-0',43
	1843	-0,50		-0,88		+2,45		+2,76		-1,06		-1,31	
Mai	1841	-1,90		+0,91		+4,09		+9,30		-5,57		-6,65	
	1842	-3,89	-3,20	-4,17	-1,72	+4,94	+5,21	+5,07	+7,28	-0,86	-1,95	-0,46	-2,28
	1843	-3,81		-1,90		+6,59		+7,46		+0,57		+0,27	
Août	1841												
	1842	-3,34	-3,78	-2,77	-2,74	+3,41	+4,76	+6,15	+6,14	-0,52	-0,96	-0,34	-1,78
	1843	-4,23		-2,72		+6,12		+6,13		-1,40		-3,22	
Novembre	1841	-0,88		-0,52		+2,74		+3,00		-0,31		-1,50	
	1842	-0,55	-0,69	-0,25	-0,63	+3,03	+2,78	+3,58	+3,15	-1,33	-0,74	-1,80	-1,45
	1843	-0,65		-1,12		+2,57		+2,87		-0,59		-1,04	

tableau (page 23), qui donne les déclinaisons mensuelles moyennes aux différentes heures, on trouve pour les déclinaisons moyennes de ces différents mois :

1842	Juin	18° 57',89
	Juillet	56,55
	Août	58,59
	Septembre	59,01
	Octobre	58,31
	Novembre	57,86
	Décembre	57,40
1843	Janvier	57,22
	Février	56,95
	Mars	56,40
	. . . .	
	. . . .	
	. . . .	
	Juillet	54,02
	Août	53,00
	Septembre	52,47
	Octobre	52,40

Si on débarrasse ces moyennes du mouvement séculaire, de manière à les ramener toutes à l'époque commune du 1er janvier 1843, elles deviennent.

1842	Juin	18° 55',11
	Juillet	54,20
	Août	56,67
	Septembre	57,51
	Octobre	57,24
	Novembre	57,22
	Décembre	57,19
1843	Janvier	57,43
	Février	57,59
	Mars	57,47
	. . . .	
	. . . .	
	. . . .	
	Juillet	56,80
	Août	56,20
	Septembre	56,10
	Octobre	56,37

Enfin la déclinaison moyenne des 10 mois compris entre juin 1842 et mars 1843, ayant pour époque aussi le 1er janvier 1843, est de

18° 56′,76.

Inclinaison de l'aiguille aimantée.

Avant de placer le magnétomètre dans le bâtiment magnétique, j'y ai fait deux séries d'observations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée avec une boussole de Gambey. Malheureusement je n'ai pu me servir que d'une seule des deux aiguilles qui avaient été livrées avec l'instrument, l'autre ayant été endommagée.

La première série d'observations a été faite le samedi 16 avril 1842, de midi à 3 heures; l'inclinaison a été déterminée par des observations faites soit en plaçant l'aiguille dans le méridien magnétique, soit en l'amenant successivement dans deux plans rectangulaires inclinés de 45° au méridien magnétique. L'inclinaison de l'aiguille dans chacun de ces plans résulte de la moyenne d'un grand nombre de lectures faites aux deux extrémités de l'aiguille, en changeant l'aiguille de face, en changeant l'azimuth de 180°, et en retournant les pôles. On a obtenu de cette manière 64° 38′,31, pour l'inclinaison résultant des observations faites dans le méridien magnétique, et 64° 38′,80 pour celle qui résulte des observations faites dans les deux plans inclinés de 45° au méridien magnétique. La moyenne entre ces deux nombres donne 64° 38′,55 pour l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

La seconde série d'observations a été faite le 9 mai 1842, de midi à 2 heures; le mode d'observation a été le même que pour la première série. Les observations faites dans le méridien magnétique ont donné 64° 44′,50 pour l'inclinaison; celles qui ont été faites dans les deux plans inclinés de 45° au méri-

dien magnétique, ont donné 64° 40',56, d'où on tire, en prenant la moyenne entre ces deux résultats, 64° 42',53.

L'inclinaison de l'aiguille aimantée à Genève, correspondant à l'époque du 1er mai 1842, qui résulte de la moyenne de ces deux séries d'observations, est donc 64° 40',50. J'ai été curieux de comparer ce résultat à ceux qui avaient été obtenus précédemment ; voici ceux que j'ai pu recueillir.

1775	Shuckborough; le lieu de l'observation et l'époque de l'année inconnus	69°	27'
1825	Arago; observation faite à Chambeisy, à une lieue au nord de la ville, le 15 septembre	65	48,5
1830	Quetelet; observation faite à l'observatoire, vers le milieu de l'année	65	31,2
1838	Muller; observation faite à l'observatoire, le 5 mai.	65	13,28
1842	Plantamour; observations faites à l'observatoire, le 16 avril et le 9 mai	64	40,50

La diminution annuelle de l'inclinaison que l'on obtient en comparant l'observation de Shuckborough aux miennes, est de 4',28. En adoptant cette diminution annuelle de 4',28, on trouve que l'inclinaison observée par Mr. Arago, ramenée au 1er mai 1842, serait 64° 38',50; l'inclinaison observée par Mr. Quetelet, ramenée également au 1er mai 1842, donnerait 64° 40'70 ; ces deux résultats s'accordent très-bien avec celui que j'ai obtenu. L'observation de Mr. Muller donne un résultat un peu différent; en effet, en ramenant au 1er mai 1842 l'inclinaison qu'il a observée, on trouverait 64° 56'.

RECHERCHES SUR LA CAUSE DE LA RÉDUCTION DES MÉTAUX LORSQUE LES SOLUTIONS DE LEURS SELS SONT SOUMISES AU COURANT GALVANIQUE, par Alfred SMEE. (*Lond. and Edimb. Phil. mag.*, décembre 1844.)

Les opinions des physiciens sur la question qui fait l'objet de cet article, sont très-diverses. Quelques-uns ont supposé que c'est l'hydrogène dégagé par la décomposition de l'eau qui réduit le métal; d'autres, que les pôles de la pile attirent directement les métaux à leur surface; enfin dernièrement on a imprimé, dans les *Transactions de la Société royale*, un mémoire dans lequel on donne aux sels une nouvelle constitution: on pense que par l'électrolyse l'acide et l'oxigène passent d'un côté, tandis que le métal isolé va de l'autre.—La première de ces opinions avait été mise en avant par Hisinger et Berzélius, et l'on peut la retrouver dans les *Annales de Chimie*, t. LI, p. 174. « Il résulte de tous ces faits que l'on a une idée fausse de la réduction opérée par l'électricité. Si on l'attribue au dégagement de l'hydrogène, comment expliquerait-on la réduction du fer et du zinc, qui ont la propriété de décomposer l'eau sans électricité? » Une opinion semblable a été soutenue par Faraday dans les *Transactions philosophiques*, et il a donné un nouveau nom à cette action réductive de l'hydrogène, qu'il appelle action électro-chimique. — La seconde hypothèse fut mise en avant par sir Humphrey Davy, qui établit que « l'hydrogène, les substances alcalines, les métaux et certains oxides métalliques sont attirés par les surfaces métalliques électrisées négativement, et repoussés par celles qui ont l'électricité positive, et qu'au contraire l'oxigène et

les substances acides sont attirés par des surfaces métalliques positives; enfin que ces forces d'attraction et de répulsion sont assez énergiques pour détruire ou suspendre l'action ordinaire de l'affinité chimique. » (*Phil. Trans.*, 1807, p. 28.)

L'hypothèse de l'électrolyse directe des sels métalliques a été mise en avant par le professeur Daniell, à la suite de quelques expériences ingénieuses qui ont été exposées devant la Société royale, et dans lesquelles on admet que le métal est directement arrêté dans son passage au pôle négatif. Le mode d'expérimentation était le suivant : Une solution de sel métallique est placée au côté positif d'un appareil à cloison poreuse, et une solution de potasse de l'autre côté; alors, le circuit étant complété par une pile puissante, le métal se dépose sur la cloison. D'après cette expérience on a cru comprendre que l'acide et l'oxigène se combinent et forment un principe médiat qui, dans le cas du sulfate de cuivre, est appelé oxy-sulphion; le sel de cuivre serait donc un oxy-sulphion de cuivre. Lorsque ce sel est soumis au courant voltaïque, il est dans cette hypothèse électrolysé directement; l'oxy-sulphion passe d'un côté et le cuivre de l'autre.

Cette expérience est tellement en désaccord avec la théorie électro-chimique de Faraday et avec la conclusion que l'on doit tirer de mon expérience sur le charbon, que, en réimprimant mes Eléments d'Electro-métallurgie, je crus devoir examiner attentivement cette hypothèse, avant d'adopter ou de rejeter une théorie aussi importante. Je répétai donc ces expériences en les modifiant de différentes manières. Avec les alcalis du côté négatif, j'obtins aisément et immédiatement le métal sur le diaphragme ; mais je ne réussis point en employant des sels neutres du côté négatif, ni lorsque des solutions d'or et de platine étaient placées du côté positif. Je fis alors une série d'expériences sur la polarité qu'acquièrent les substances solides interposées entre les deux pôles de platine. On plaça une série de fils de cuivre dans toutes sortes de directions et

de places entre les pôles, dans une solution de sulfate de cuivre, et l'on trouva qu'une partie de chacun des fils devenait positive et se dissolvait, tandis que l'autre partie du même fil devenait négative et réduisait le métal de la dissolution; de sorte que tous les fils, dans les différentes places où ils se trouvaient, éprouvaient une diminution ou une augmentation de volume. J'examinai ensuite la propriété des fils de platine de devenir polaires, et trouvai que dans ce cas la résistance est beaucoup plus forte que lorsqu'on emploie d'autres métaux; et pourtant, au moyen d'un arrangement particulier, ils donnèrent des bulles de gaz en abondance. (*Eléments d'Electrométallurgie*, p. 53, 2ᵉ édition.)

Ayant ainsi prouvé la polarité des substances conductrices interposées, j'essayai de déterminer comment les corps non conducteurs se conduiraient dans les mêmes circonstances; mais je ne pus pas obtenir un résultat bien satisfaisant à ce sujet. Ne pouvant donc arriver à une démonstration suffisante de la polarité des substances non conductrices interposées, je résolus de ne pas m'appuyer sur ces expériences dans la recherche de la cause de la réduction des métaux, mais de chercher ailleurs les preuves de la réalité de cette réduction.

Je répétai les expériences que j'avais faites en 1839, et communiquées dans ce journal en 1840, par lesquelles j'avais reconnu que le coke poreux ou le charbon de bois, placés comme pôles négatifs dans l'acide sulfurique étendu, absorbaient une grande quantité d'hydrogène. Voici le mode d'expérimentation.—Un morceau de charbon de bois bien brûlé ou de coke (*cinder*) fut retiré rouge du feu, et plongé dans de l'acide sulfurique étendu, de manière à éviter toute chance de la présence de l'oxigène dans ses pores. Dans cet état il n'agissait nullement sur les dissolutions métalliques. Je le fis servir de pôle négatif dans de l'acide sulfurique étendu, en le mettant en communication avec la pile voltaïque: il se chargea alors d'hydrogène, ce que l'on reconnut à ce que le gaz ne se dégagea

à sa surface qu'un moment après la fermeture du circuit. Les morceaux de coke ainsi chargés d'hydrogène furent plongés dans diverses solutions métalliques, et le métal se déposa instantanément à la surface du coke, comme un vernis brillant. C'est le cuivre qui donne le plus bel exemple de ce dépôt, quoique celui d'autres métaux, en particulier de l'or et de l'argent, soit également remarquable. Le coke chargé d'hydrogène conserve la propriété de réduire ainsi les métaux plusieurs jours après qu'on l'a saturé de gaz.

La répétition de ces expériences me fortifia beaucoup dans l'opinion que c'est l'hydrogène dégagé par la décomposition de l'eau qui est réellement la cause de la réduction des métaux, et je poursuivis mes recherches pour m'assurer de la valeur de cette hypothèse, la première qui ait été énoncée à ce sujet, et qui a pour elle l'appui de notre célèbre Faraday.

Je recherchai d'abord si le transport du métal avait lieu uniformément, et dans le même temps que sa réduction. Il semble que ce transport est absolument nécessaire à la théorie de l'électrolyse directe du sel métallique ; mais voyons quel est le résultat obtenu. Je préparai une solution de sulfate de cuivre bien uniforme, je fixai au fond d'un vase long qui la contenait, un pôle positif de cuivre, et à la partie supérieure de ce vase un pôle négatif du même métal, et je fermai le circuit au moyen d'une ou deux des auges de ma pile. Le premier dépôt que l'on vit au pôle négatif fut du cuivre métallique brillant et ductile ; la couche suivante fut cassante ; à la troisième, le dépôt devint comme du sable, puis spongieux, puis il prit la forme d'une poudre noire, et finalement l'hydrogène se dégagea.

Cette expérience très-importante fut répétée de diverses manières et avec des solutions métalliques très-variées ; mais il est inutile d'entrer ici dans ce détail, vu que l'expérience qui précède fait voir positivement que le transport du métal n'est point proportionnel au métal réduit. Le pôle positif présente le même phénomène, car il se couvre de sel métallique, ce qui met ainsi

hors de doute que le sel métallique se forme directement à l'un des pôles, tandis qu'à l'autre le métal réduit provient d'une autre portion de la solution métallique. Dans une solution neutre d'un sel métallique quelconque, de cuivre par exemple, l'acide n'est pas plus transporté au pôle positif que le métal ne l'est au pôle négatif; et quand elle se décompose, on voit que le pôle positif est souvent recouvert d'une couche d'oxide de cuivre d'une épaisseur considérable, tandis que la solution devient promptement acide à cause de l'équivalent d'acide sulfurique mis en liberté.

Les faits que je viens de décrire ont été observés non-seulement dans les expériences précédentes, mais dans la décomposition d'une centaine de sels différents, y compris celle de vingt métaux que j'opérai pour mon ouvrage sur l'électro-métallurgie. Les résultats furent les mêmes avec plus ou moins d'évidence; je puis même affirmer qu'aucune opération électro-métallurgique ne peut se faire sans que ces phénomènes se produisent; et l'une des plus grandes difficultés qu'on éprouve en pratique dans l'électro-métallurgie, est due à la variation dans la force des sels métalliques soumis à la décomposition[1].

De quelle manière se fait donc la réduction des métaux, s'ils ne sont pas transportés de l'un des pôles à l'autre? L'examen attentif d'une solution qui dépose son métal nous donnera l'explication de ce phénomène. L'on voit s'élever de la surface

[1] Etant allé visiter dans le courant de novembre (1844), Mr. Horne de Newgate-Street, habile électro-métallurgiste, je le trouvai travaillant à la confection d'une électro-statue de sir John Crosby, dans un moule préparé par le sculpteur Samuel Nixon. Mr. Horne était occupé à une des jambes, et il m'affirma qu'il était dans un grand embarras par le fait de l'inégalité que présentait la distribution du sel métallique dans la dissolution. Voici le moyen bien simple qu'il employait pour vaincre cette difficulté: il introduisait de temps à autre jusqu'au fond de la jambe un tube de verre, puis soufflait au travers, et opérait ainsi un mélange convenable des solutions épuisées et saturées. Ce fait donne un exemple pratique à l'appui de l'opinion que j'ai énoncée plus haut.

négative un fluide léger et incolore qui, dans quelques cas, détruit l'espérance du praticien, en déterminant sur le métal réduit des cavités qui peuvent s'étendre jusqu'à la dimension d'un pouce et davantage; dans d'autres cas, ce même fluide donnera lieu à un dépôt spongieux. Il est évident, d'après ces faits, qu'il se forme de l'eau à la surface négative, et c'est probablement l'hydrogène qui réduit le sel métallique.

Nous avons donc comme arguments en faveur de la réduction des métaux par l'hydrogène dégagé de l'eau, d'abord les résultats obtenus dans l'expérience du charbon; 2° l'absence de transport du métal; 3° le transport imparfait de l'acide; 4° l'élévation d'un fluide aqueux léger au pôle négatif; enfin nous avons 5° l'analogie de la réduction de l'acide nitrique par l'hydrogène dans la pile de Grove, car c'est l'absorption du gaz par cet acide qui lui donne son intensité, et dans ce cas l'on ne peut supposer que la décomposition de cet acide s'opère autrement que par l'hydrogène. Le changement des sels métalliques de peroxide en sels de protoxide vient à l'appui de la même opinion. Une telle réunion de preuves est bien suffisante; mais j'ai néanmoins encore à décrire quelques expériences directes dans lesquelles l'hydrogène seul réduit les métaux de divers sels.

Le moyen employé pour obtenir ce résultat est très-simple. La solution métallique à examiner est placée dans un verre; un tube dans lequel est ajustée une lame de platine platiné est rempli de la même dissolution, puis retourné dans ce vase; ensuite on fait passer un courant d'hydrogène suffisant pour remplir le tube jusqu'à la moitié de la lame de platine. On voit que cet arrangement est le même que celui d'un des tubes de l'excellente pile à gaz de Grove, et voici les résultats que j'ai obtenus avec diverses solutions métalliques.

Avec la solution de chlorure de platine, l'hydrogène disparaît graduellement, et la poudre noire de platine se recouvre çà et là d'une belle couche de platine brillant.

Avec une solution de chlorure d'or, on obtient le même résultat, le platine étant doré par un beau dépôt de métal ; avec ce sel, l'action est immédiate.

Avec le nitrate de palladium, l'hydrogène est rapidement absorbé, et le palladium brillant se dépose.

Avec l'acide nitrique et le platine platiné, l'hydrogène est graduellement absorbé et l'acide décomposé.

Dans les mêmes circonstances, une solution de sulfate de cuivre donne en peu de temps une grande quantité de petits cristaux de cuivre.

Une solution de sulfate de peroxide de fer cède rapidement son oxigène, et se convertit en proto-sulfate.

Une solution de nitrate d'argent donne, mais lentement, de petits cristaux d'argent.

L'hydrogène réduit de même lentement une solution de proto-chlorure d'étain en contact avec le platine platiné.

Le nickel du chlorure se dépose dans les mêmes circonstances.

Contrairement à mon attente, l'hydrogène n'a pas paru réduire l'acide iodique.

Je n'ai pas pu déterminer si le fer d'une solution de proto-sulfate est réduit à l'état métallique.

Je soumis à la même expérience les cyanures métalliques. Le cyanure d'or et de potassium me donna l'or métallique.

Le cyanure d'argent et de potassium me donna de même de l'argent, mais lentement, et l'hydrogène diminua.

Les deux derniers résultats intéressent les chimistes, car ils paraissent ouvrir une nouvelle voie de recherches sur la nature de ces curieuses et importantes combinaisons.

Tels ont été mes résultats avec le platine platiné et l'hydrogène ; l'hydrogène est absorbé et les métaux sont réduits. Ceux qui cèdent l'oxigène le plus rapidement, sont le chlorure de platine, le chlorure de palladium, les sels de peroxide de fer, le chlorure d'or et l'acide nitrique. Je cherchai ensuite à dé-

terminer jusqu'à quel point on pourrait employer d'autres métaux, ou le même métal dans des états différents, et le platine ductile fut choisi pour cela. Avec le sulfate de cuivre ou les sels de peroxide de fer, il n'y eut aucune absorption.

On choisit ensuite le platine palladinisé; employé de la même manière avec l'hydrogène dans le sulfate de cuivre, il réduisit ce dernier métal.

On examina ensuite l'argent, et dans ce but, un morceau d'argent bien décapé par l'acide nitrique, fut plongé dans une solution de cuivre en contact avec l'hydrogène; mais aucun changement n'eut lieu, même après plusieurs jours.

L'emploi de l'argent spongieux ne donna pas de meilleur résultat.

Le dépôt noir d'argent n'opère pas mieux l'absorption de l'hydrogène, et la réduction du sulfate de cuivre n'a pas non plus lieu dans ce cas.

On examina ensuite le cuivre soit brillant, soit spongieux. Dans le premier état, et décapé par l'acide nitrique, il ne présenta aucun changement; dans l'état spongieux, il ne parut guère plus efficace pour opérer la réduction du métal.

Vu l'intérêt que présentait le charbon d'après une expérience mentionnée dans ce mémoire, un morceau de coke fut exposé à l'action de l'hydrogène et d'une solution de cuivre; mais, chose étonnante, aucun dépôt de cuivre n'eut lieu, et l'hydrogène ne fut nullement absorbé. Je ne connais réellement aucun moyen mécanique de charger le coke d'hydrogène, qui le rende susceptible d'opérer la réduction des métaux.

Enfin j'essayai quelle pouvait être l'action du papier joseph pour effectuer la réduction des métaux par l'hydrogène. Elle parut nulle dans le chlorure d'or, même après deux ou trois jours. Il en fut de même dans une solution de sulfate de cuivre, et dans celle de nitrate d'argent[1].

[1] 4 novembre 1844. — Au bout de quelque temps le papier se couvrit

Le sulfate de peroxide de fer ne fut pas non plus désoxidé par l'action de l'hydrogène et du papier.

En résumant les résultats sur la réduction directe des métaux par l'hydrogène, on peut établir en général que le platine platiné et le platine palladinisé sont seuls capables de produire ce changement, et qu'on obtient des résultats négatifs avec le platine ductile, l'argent ductile, la poudre noire d'argent, le cuivre brillant ou spongieux, le charbon et le papier. Ces résultats négatifs ne prouvent point que, dans certaines circonstances, l'hydrogène soit incapable de réduire les métaux, car il est possible dans certaines conditions, que plusieurs autres substances, telles que le platine divisé, puissent acquérir le pouvoir d'aider cette mystérieuse absorption du gaz.

Ces diverses expériences sur l'action désoxidante de l'hydrogène seront utiles aux électriciens, car elles font connaître la cause de quelques-uns des phénomènes galvaniques les plus intéressants. Pour l'électro-métallurgiste, elles ont une importance plus grande encore, car elles démontrent que dans la décomposition du fluide métallique la force ne peut point rester uniforme à cause des changements mêmes qu'opèrent les courants voltaïques. Il doit donc, dans tous les cas, mettre en jeu la force de pesanteur, non-seulement pour opérer la diffusion du nouveau sel formé d'où le métal se dépose, mais aussi pour que l'acide dissolve l'oxide formé au pôle positif. Le moyen par lequel les métaux sont réduits, peut paraître au praticien être d'une nature tout à fait immatérielle, mais il

d'un dépôt noir d'argent, et la surface du tube de verre se couvrit d'une lamelle brillante d'argent métallique. L'importance de cette expérience est manifeste, car elle montre, dit l'auteur, que l'hydrogène et la matière siliceuse peuvent réduire les métaux de leur solution, opération qui a lieu sans doute fréquemment dans les entrailles de la terre. Les recherches futures prouveront jusqu'à quel point les veines métalliques ont pu être ainsi déposées. La décomposition des matières organiques donne toujours de l'hydrogène, et l'hydrogène dans certaines circonstances peut réduire les métaux de leur dissolution.

trouvera que la cause de presque tous ses mécomptes gît dans la diffusion non uniforme du sel métallique.

Toutes ces expériences présentent un ensemble varié et irrésistible d'arguments à l'appui de la théorie de la réduction des solutions métalliques par l'hydrogène. La réduction directe dans l'expérience du charbon, le non transport du métal, le transport imparfait de l'acide, l'élévation d'un fluide aqueux léger au pôle négatif, la décomposition de l'acide nitrique et des peroxides de fer, les expériences directes de la réduction pour l'or, l'argent, le platine, le palladium, le nickel, le cuivre, l'étain, et la décomposition des sels de peroxide de fer et de l'acide nitrique renfermés dans un tube, paraissent résoudre la question et prouver jusqu'à l'évidence que l'hydrogène est la cause de la réduction des métaux.

Toutes les expériences que j'ai détaillées ne sont qu'une confirmation des belles recherches de Faraday sur la décomposition électro-chimique. On se demandera si l'hydrogène réduit directement le métal de la solution, ou bien s'il réduit son oxide. La première opinion paraît la plus probable d'après les expériences ci-dessus; mais si d'autres faits venaient éclaircir cette action, je m'empresserais de les communiquer. Ainsi, lorsqu'une solution métallique est soumise au courant voltaïque, l'eau est décomposée, l'oxigène passe d'un côté, l'hydrogène de l'autre, et ce dernier opère au pôle négatif, sur le sulfate de cuivre ou d'autres sels métalliques, le même effet qu'un morceau de fer ou de zinc produirait dans ces dissolutions.

OBSERVATIONS SUR UNE LETTRE DE M. MATTEUCCI, par Mr. Edm. Becquerel. (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XIII, p. 216.)

J'ai publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XI, p. 162, et dans les *Archives de l'Electricité* (Genève, t. IV, no 14), un Mémoire ayant pour titre: *Des lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps.* Mr. Matteucci ayant cru devoir réclamer pour lui quelques-uns des faits consignés dans ce Mémoire, je vais répondre successivement aux différentes parties de sa lettre, pour montrer que ses observations ne sont pas fondées, et que je ne mérite aucun reproche.

D'abord, en commençant, je trouve cette phrase: « Dans la première partie du Mémoire de Mr. Edmond Becquerel, on lit que les recherches expérimentales de MM. Faraday et Matteucci n'ont conduit à aucune loi simple, qu'elles étaient trop incomplètes pour pouvoir donner des résultats sur lesquels l'électro-chimie pût compter. » Mais je ne me suis pas exprimé ainsi dans mon Mémoire. Après avoir rapporté dans les deux premières pages la loi de Mr. Faraday sur la décomposition électro-chimique en proportions définies, j'ai indiqué, page troisième, les recherches faites par Mr. Matteucci pour savoir si cette loi s'appliquait aux combinaisons en proportions multiples, et après avoir rappelé les lois qu'il a déduites de trois expériences (*Bibliothèque Universelle de Genève*, tome XXI, 1839), j'ai ajouté: « les résultats ne l'ont conduit à aucune loi simple, etc. » C'est donc, comme on le voit, aux recherches de Mr. Matteucci sur les combinaisons en proportions multiples, que j'ai voulu faire allusion, et non à celles de

Mr. Faraday et d'autres physiciens, sur la décomposition électro-chimique en proportions définies des composés qui sont formés de la réunion de 1 équivalent d'acide avec 1 équivalent de base ; car le but de mon travail était d'analyser principalement les phénomènes produits quand on opère avec des composés en proportions multiples, et de tâcher de trouver une loi qui pût lier l'ensemble de tous les phénomènes.

Ce que je viens de dire répond aussi au troisième alinéa de la lettre de Mr. Matteucci, où se trouve la phrase suivante : « Quant à la décomposition électro-chimique des sels, mes recherches ont prouvé que pour 1 équivalent d'électricité il y a 1 équivalent d'acide et d'oxigène au pôle +, et 1 équivalent de métal ou d'oxide au pôle —, etc. » Je croyais que cela résultait des expériences de Mr. Faraday. Du reste, cette loi n'exprime nullement la décomposition des combinaisons en proportions multiples, car la réunion de 1 équivalent d'acide et de 1 équivalent de base ne reproduirait pas le sel décomposé, formé de 1 équivalent combiné avec 2 ou 3 équivalents.

Je ne m'arrêterai pas non plus à la loi de décomposition simultanée des corps mélangés. Je ne pensais pas que Mr. Matteucci voulût réclamer pour lui la conséquence nécessaire de la loi de Mr. Faraday ; je l'ai donnée comme une déduction naturelle des lois exposées précédemment.

Mr. Matteucci ajoute ensuite : « Je n'ai plus qu'une observation à faire au Mémoire de Mr. Edmond Becquerel, qui est relative à l'usage qu'il a fait du bichlorure d'étain $St\,Cl^4$ pour ses recherches. Ce corps ne conduit pas le courant étant anhydre, et il en faut conclure autant du perchlorure d'antimoine $An\,Cl^5$; il est très-probable qu'il en serait de même du perchlorure de fer $Fe\,Cl^3$. Ces composés, dissous dans l'eau, ne peuvent non plus conduire le courant, etc. » Je ne puis admettre ce principe sans preuve à l'appui : de ce qu'un corps anhydre ne conduit pas le courant, il n'en faut pas conclure qu'en solution dans un liquide il ne soit pas décomposé directement;

et ce qui tend à me faire croire que les chlorures cités plus haut le sont en effet, c'est que, comme je l'ai dit dans mon Mémoire, on obtient seulement du chlore au pôle positif, pourvu que l'on modère l'action de l'électricité.

Quant à la différence qui existe entre les résultats de Mr. Matteucci et les miens, pour le nombre exprimant la décomposition du protochlorure d'antimoine, je crois en avoir indiqué la cause dans mon Mémoire. Il pourrait se faire, en effet, que lorsqu'on n'opère pas convenablement, le chlore ou le liquide lui-même attaquât l'antimoine qui se dépose au pôle négatif. Au surplus, voici le résultat de deux expériences nouvelles faites sur du protochlorure d'antimoine, dissous dans quelques gouttes d'acide chlorhydrique, et qui confirme ce que j'avais annoncé dans mon Mémoire.

	Gaz dégagé dans le voltametre.	Gaz sec ramené à 0° et $0^m,76$.	Poids de l'eau décomposée correspondante.	Antimoine deposé au pôle négatif.
	cent. cubes.	cent. cubes.	milligr.	gr.
Première expér.	43	40,00	21,48	0,106
Seconde expér.	98	91,14	48,94	0,232

Les nombres de la troisième colonne sont obtenus en multipliant ceux de la deuxième par $0^{\text{milligr.}},537$, qui est le poids de l'eau fournissant 1 cent. cube de mélange d'hydrogène et d'oxigène sec à 0 degré et $0^m,76$ de pression ; or, l'équivalent de l'antimoine est 806,45 ; celui de l'eau, 112,5. Pour qu'il se déposât 1 équivalent d'antimoine, il faudrait qu'il y eût eu au pôle négatif, dans le premier cas, $21,48 \frac{806,45}{112,5} = 153^{\text{milligr.}},80$, et dans le deuxième cas, $48,94 \frac{806,45}{112,5} = 350^{\text{milligr.}},4$. Or, si l'on prend les $^2/_3$ de ces nombres, on a $0^{gr},102$ et $0^{gr},233$, qui corrèspondent à 0,106 et 0,232 trouvés par expérience. Ainsi il se dépose donc, comme je l'ai

dit dans mon Mémoire, les $^2/_3$ de l'équivalent de l'antimoine, et non $^1/_3$ comme le suppose Mr. Matteucci. De plus, dans la première expérience, j'avais pris pour électrode positif un barreau d'antimoine qui a éprouvé une perte de poids de 0gr,102, comme déjà cela devait être.

La pile qui fournissait l'électricité était composée de 10 éléments, et donnait 10 centimètres cubes de gaz à peu près par 15 minutes dans le premier cas, et 10 ou 12 centimètres cubes par minute dans le second.

Enfin, Mr. Matteucci termine sa lettre par la phrase suivante : « Il résulte donc de ces observations, que la lecture du travail de Mr. Becquerel m'a prouvé avec plaisir que ce jeune physicien avait confirmé et généralisé les conclusions auxquelles j'étais déjà parvenu, mais en y ajoutant des faits nouveaux dignes d'être suivis. » J'en demande bien pardon à Mr. Matteucci; mais je n'ai pu confirmer ni généraliser ses conclusions, étant parvenu par mes expériences à une loi qui en diffère totalement. Pour montrer en quoi consiste cette différence, je transcrirai ici les résultats de Mr. Matteucci et les miens.

Bibliothèque Universelle de Genève, 1839, tome XXI, page 162.

Mr. Matteucci.

—

« Si un courant électrique décompose dans le même temps trois combinaisons mises séparément sur sa route, combinaisons qui renferment, la première 1 équivalent avec 1 équivalent, la deuxième 1 équivalent avec 2, la troisième 1 équivalent avec 3, on trouve que son action chimique sur chacune, mesurée par la quantité de ces trois combinaisons qui a été décomposée, varie comme les nombres 1, 1/2, 1/6. »

Conclusions de mon Mémoire.

« Lorsqu'une combinaison binaire ou ternaire est soumise à l'action décomposante de l'électricité, et qu'elle est décomposée, la décomposition se fait toujours en proportions définies; de telle sorte que pour 1 équivalent d'électricité employé, 1 équivalent de l'élément électro-négatif, ou du moins du composé qui joue le rôle d'acide dans la combinaison, se porte au pôle positif, et la quantité correspondante de l'élément électro-positif, ou qui joue le rôle de base, se porte au pôle négatif. »

Ou bien, en l'énonçant autrement :

« 1 équivalent d'une combinaison formée par la réunion de 1 équivalent d'acide et d'une quantité correspondante de base, exige toujours 1 équivalent d'électricité pour être décomposé électro-chimiquement. »

On voit donc qu'il n'y a rien de commun entre les résultats de Mr. Matteucci et les miens ; mais dans le cas des corps composés de 1 équivalent avec 1 équivalent, on retombe sur la loi de Mr. Faraday.

Après avoir répondu à Mr. Matteucci, je vais citer les résultats de quelques expériences que l'on doit joindre à ceux que j'ai donnés dans mon Mémoire.

J'ai montré qu'avec les acétates de plomb on n'avait que 1 équivalent de plomb au pôle négatif, tandis qu'en opérant avec les nitrites de plomb, le dépôt au pôle négatif pouvait aller à trois fois et demie le poids de 1 équivalent de plomb. J'ai repris ces expériences sur une plus grande échelle, je les ai variées, et je suis arrivé au résultat suivant. Le précipité que l'on obtient au pôle négatif dans ces nitrites, au lieu d'être du plomb métallique, est une combinaison de plomb, probablement un sous-oxide comme je vais le dire plus loin, et quelquefois un mélange de ce sous-oxide avec du plomb métallique. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que cette matière est grisâtre et a toute l'apparence du plomb en poudre, ce qui me l'avait fait prendre, au premier abord, pour ce métal.

En lavant rapidement cette matière dans l'eau bouillante, on ne la décompose pas ; mais dans l'acide acétique, même étendu, aussitôt une partie de la masse se dissout, et l'autre, qui reste au fond du vase, est du plomb métallique, dont tous les flocons se soudent facilement les uns aux autres. J'avais pensé, d'après cela, que ce composé était un sous-nitrite très-basique, mais l'azote ne m'a paru être qu'accidentel, et je pense, comme je vais le dire plus loin, que c'est simplement un sous-oxide.

Afin d'agir sur le nitrite le plus basique, j'ai fait usage dans mes expériences du nitrite couleur de chair $Az^2 O^3, 4 Pb O$, que l'on obtient quand on fait bouillir pendant très-longtemps une solution aqueuse de nitrate de plomb avec des lames minces de ce métal. Comme l'eau n'en dissout que les $^8/_{10000}$ de son poids à la température ordinaire, et les $^{290}/_{10000}$ à 100

degrés d'après Mr. Peligot, j'ai dû opérer seulement sur les solutions aqueuses à 100 degrés ; j'ai pris au moins dans chaque expérience un demi-litre de dissolution, et je n'ai fait usage que du précipité formé dans les premiers instants, correspondant à une décomposition dans le voltamètre de 20 à 30 centimètres cubes de gaz oxigène et hydrogène mélangés.

Avec des courants faibles ou énergiques j'ai toujours obtenu les mêmes résultats. Dans plusieurs séries d'expériences, j'ai trouvé, en lavant le précipité formé au pôle négatif avec de l'eau acidulée par l'acide acétique :

Gaz mélangés dans le voltamètre.	Gaz sec.	Eau décomposée correspondante.	Plomb résultant du lavage de l'électrode négatif.	Plomb correspondant à 1 équivalent par le calcul.
cent. cubes.	cent. cubes.	milligr.	gr.	gr.
32,0	29,76	16,0	0,175	0,183
23,0	21,4	11,5	0,135	0,133
29,0	26,97	14,48	0,162	0,166
26,5	24,6	13,2	0,146	0,150

c'est-à-dire qu'il n'y a que 1 équivalent de plomb au pôle négatif; mais le poids de ce plomb provient d'un poids plus de trois fois plus considérable de précipité.

Quand on lave le précipité avec de l'eau chaude simplement, on n'observe plus les mêmes effets. Je citerai les résultats de deux expériences faites en lavant avec soin le précipité et le séchant au feu sur du papier à filtrer :

Gaz mélangés.	Gaz sec.	Eau correspondante.	Précipité au pôle négatif.	Plomb correspondant à 1 équivalent.
cent. cubes.	cent. cubes.	milligr.	gr.	gr.
25,0	23,25	12,44	0,515	0,143
22,5	20,9	11,22	0,465	0,129

Dans ces deux circonstances, les rapports du poids des précipités au poids de l'équivalent est $\frac{515}{143} = 3,60$ $\frac{465}{129} = 3,60$.

En préparant avec soin ce précipité et le séchant comme il vient d'être dit, j'ai reconnu qu'il perdait encore de l'eau dans le vide sec pendant un ou deux jours ; de sorte que le rapport précédent 3,60 doit être abaissé au moins à 3,18.

Le composé m'a présenté la composition $Pb^3 O^2$; ce serait donc, comme on le voit, un oxide de plomb intermédiaire entre le sous-oxide $Pb^2 O$ (Dulong) et le protoxide $Pb O$, ou peut-être une combinaison des deux, car $Pb^2 O + Pb O = Pb^3 O^2$. Il serait analogue au minium qui est une combinaison du protoxide et du bioxide.

Ce produit est noirâtre et ressemble au sous-oxide provenant de la distillation de l'oxalate de plomb. Calciné au contact de l'air, il se transforme en protoxide.

En présence de l'acide acétique, il se change en protoxide qui se dissout, et en plomb métallique qui se rassemble au fond du vase, et dont les parties se soudent facilement ; dans ce cas $Pb^3 O^2$ donne Pb et 2 ($Pb O$). Cela explique aussi pourquoi, lorsqu'on lave le précipité avec l'acide acétique au pôle négatif, on a toujours Pb pour résidu, de même que lorsqu'on fait usage du nitrite dissous dans l'acide acétique. Du reste, je compte étudier de nouveau ce composé qui est assez difficile à obtenir pur ; car sur la lame négative il se mêle quelquefois un sous-sel verdâtre aux flocons grisâtres de l'oxide. Si son existence est bien constatée, c'est donc, comme on le voit, le deuxième oxide de plomb que l'on obtient à l'aide de l'électricité, et qui jusqu'à présent n'a pu être obtenu par les procédés chimiques ordinaires. Le premier est l'hydrate de peroxide jaune clair, que mon père a obtenu il y a deux ans. Ainsi, les oxides de plomb connus seraient, d'après cela :

$Pb^2 O$ sous-oxide ;
$Pb^3 O^2$?
$Pb O$ protoxide ;
$Pb^2 O^3$ minium ;
$Pb O^2$ peroxide ;
$Pb O^2, HO$ hydrate de peroxide.

Quand on décompose électro-chimiquement une solution de nitrite de plomb, ce n'est que dans les premiers instants que le composé grisâtre se précipite; si l'on veut continuer l'opération, on a au pôle négatif un mélange d'oxide et de plomb métallique, et le poids du précipité diminue et s'approche sans cesse d'être égal à celui de 1 équivalent de plomb. Il est probable, dans ce cas, qu'il se forme au pôle positif un nitrate ou un nitrite moins basique qui se décompose en même temps, et qui donne lieu à un dépôt de plomb.

Pour donner un exemple de ce que je viens de dire, je citerai les deux résultats suivants, obtenus en faisant passer un courant électrique dans 2 décilitres de dissolution bouillante de nitrite, et pesant le précipité qui s'est formé sur la lame après le passage du courant pendant quelques minutes, puis ensuite après un temps plus long :

	Gaz dégagé dans le voltamètre.	Gaz sec.	Eau décomposée correspondante.	Dépôt négatif	Plomb correspondant à 1 équival
	cent. cubes.	cent. cubes.	milligr.	gr.	gr
Premier dépôt.	22,5	21,7	11,65	0,507	0,134
Second dépôt.	74,0	71,3	38,29	1,026	0,440

Le précipité a été lavé à l'eau chaude, puis ensuite séché au feu sur du papier à filtrer; il retenait encore probablement un peu d'eau.

On voit toujours que, proportionnellement, le précipité dans le second cas est moins considérable que dans le premier cas, car le rapport au poids de l'équivalent est $\frac{1,507}{0,134} = 3,7$ pour le premier dépôt, et $\frac{1,026}{0,440} = 2,3$ pour le second.

Si l'on continuait encore, on serait arrivé à n'avoir que le poids de 1 équivalent, c'est-à-dire du plomb métallique seul.

Quand on décompose électro-chimiquement le nitrite dont j'ai parlé, et qu'on emploie pour lame positive une lame de platine ou d'or, on a en général un dépôt de peroxide de plomb, comme avec tous les sels de plomb; mais, lorsque les dimensions de cette lame sont semblables à celles de la lame négative, c'est-à-dire, lorsque la surface est de 6 à 7 centimètres carrés, le dépôt de peroxide est peu considérable, et même, dans certaines circonstances, pour une intensité de courant que je n'ai pu apprécier, car je n'ai pas reproduit ce résultat à volonté, il ne se dégage pas de gaz au pôle positif, et il ne se dépose pas de peroxide : la décomposition du nitrite se ferait donc dans ce cas sans dégagement de gaz. Si la lame positive a de petites dimensions, ou si c'est un fil, alors on observe un dégagement de gaz oxigène et un dépôt de peroxide; mais dans tous les cas, avec ce nitrite la liqueur se colore en jaune, ce qui indique la formation de l'hyponitrite jaune $Az^2 O^4 2 PbOHO$ au pôle positif.

L'hyponitrite orange $Az^2 O^4 \, {}^7/_2 (Pb\,O) HO$ paraît se comporter de la même manière, et donner le même précipité au pôle négatif plus ou moins mélangé de plomb métallique.

Pour en donner un exemple, je citerai le résultat suivant :

Gaz mélangés.	Gaz sec à $0^m,76$.	Eau décomposée correspondante.	Dépôt négatif.	Peroxide déposé au pôle positif.	Plomb correspondant à 1 équivalent.
cent. cubes. 69	cent. cubes. 65,03	milligr. 34,9	gr. 1,143	gr. 0,060	gr. 0,4015

On voit que le dépôt lavé à l'eau chaude est près de trois fois égal au poids de l'équivalent. Le poids du peroxide positif est de 60 milligrammes; si l'on admettait que la réduction du sel de plomb fût due à l'hydrogène, on devait avoir au pôle positif une quantité de peroxide correspondante, ou bien ici $0^{gr},232$, ce qui n'est pas.

Quant à l'hyponitrite jaune, il donne pour précipité un poids qui varie depuis 1 équivalent jusqu'à près de 2 équivalents; c'est un mélange de l'oxide dont j'ai parlé et de plomb métallique. Mais avec tous ces composés, quand on lave à l'acide acétique, il reste toujours 1 équivalent de plomb métallique, ce qui s'accorde très-bien avec la décomposition en proportions définies de l'électricité.

On voit, d'après cela, que la formation de ce nouvel oxide de plomb complique la décomposition électro-chimique des nitrites, et que, dans l'incertitude où l'on est de leur véritable constitution atomique, on ne peut dire à présent s'ils sont décomposés directement ou non par l'électricité; dans tous les cas, il y a toujours en général plus de 1 équivalent de déposé au pôle négatif par suite de la décomposition électro-chimique, comme je l'avais déjà annoncé; mais si l'on a égard à la décomposition électro-chimique des corps dont la constitution est bien connue, comme je l'ai dit dans mon Mémoire, on vérifie la loi à laquelle je suis parvenu et que j'ai énoncée au milieu de cette note.

ERRATA

du Mémoire de Mr. C.-F. Schœnbein, sur la production de l'ozône par voie chimique, page 333 (*n*° 15) *de ce volume.*

Pag.	Lignes.	
333	17	les radicaux, *lisez* : les corps halogènes.
340	27	un radical, *lisez :* un corps halogène.
341	30	un radical composé, *lisez :* un corps halogène composé.
349	16	phosphoreuse, *lisez :* sulfureuse.
352	13	combiné, *lisez* : mêlé.
358	10	hydro-chlorique, *lisez :* hydro-sulfurique.
364	11	aux radicaux des sels, *lisez :* aux corps halogènes.
Id.	19	papier de lakmus, *lisez :* papier de tournesol.
Id.	dernière ligne;	lakmus, *lisez :* tournesol.
367	19	avec des sels de fer purs, *lisez :* avec un sel de protoxide de fer pur.
368	1	un radical, *lisez :* un corps halogène.
373	dernière ligne;	de sous-sels d'étain, *lisez :* des sels de protoxide d'étain.
377	1	sulfate, *lisez :* protosulfate.
384	24	et en partie se mélange, *lisez :* et se mélange.
Id.	32	dans cette dernière réaction, *lisez :* pendant cette réaction.
385	21	une partie, *lisez :* un équivalent.
Id.	22	trois parties en poids, *lisez :* trois équivalents.
388	13	*effacez* ne pas.
390	1	prononcé, *lisez :* intime.
Id.	8	si elle était exercée par l'éther même, *lisez :* dans le cas où l'éther serait absent.
395	24	le premier, *lisez :* le dernier.
402	17—18	renfermé, *lisez :* recueilli.
Id.	dernière ligne;	le gaz sulfureux, *lisez :* cette solution.
412	31	avec abondance, *lisez :* sensiblement.
416	10	se combine, *lisez :* se comporte.

Pag.	Lignes.	
420	16	qui disparaît, *lisez :* propriété que ladite solution perd.
423	5	l'acide bromique, *lisez :* l'acide ozonique.
424	4	et suivantes; *après* de la potasse, *jusqu'à la fin du paragraphe, lisez :* après l'avoir exposée pendant peu de temps à une forte chaleur dans l'eau distillée, et qu'on la sature à excès avec de l'acide sulfurique, elle possède la propriété de bleuir.
Id.	21	à l'état naturel, *lisez :* qu'on n'a pas chauffée.
447	23	sulfurique, *lisez :* sulfureux.

Avis aux Abonnés de la *Bibl. Univ*. pour 1845.

Ils pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me de la nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à 30 fr. chacune, et les années 1841 à 1844 pour 32 fr. chacune, *non compris les frais de port.*

AVIS.

Les quatre premiers volumes des *Archives de l'Électricité* (années 1841 à 1844) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Des courants électriques terrestres, et de leur influence sur les phénomènes de décomposition et de recomposition dans les terrains qu'ils parcourent, par Mr. Becquerel 557

Remarques sur quelques anomalies apparentes dans les phénomènes électriques produits par la foudre; lettre de Mr. Peltier . . . 580

Sur les progrès et sur l'état actuel de la galvanographie, par Fr. de Kobell 584

De la thermo-électricité des métaux et des minéraux métalliques, par Mr. le docteur Hankel. 590

De la polarisation voltaïque du fer, par W. Beetz 600

Expériences sur la force électromotrice tellurique, exécutées par Mr. L. Magrini, avec l'appareil que la ville de Milan fit construire à l'occasion du sixième congrès scientifique 610

Résultats des observations magnétiques faites à Genève, dans les années 1842 et 1843, par le professeur E. Plantamour. 620

Recherches sur la cause de la réduction des métaux lorsque les solutions de leurs sels sont soumises au courant galvanique, par Alfred Smee. 643

Observations sur une lettre de Mr. Matteucci, par Mr. E. Becquerel. 653

Errata du mémoire de Mr. Schoenbein sur la production de l'ozône par voie chimique 663

